

Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset

Suomen kansallinen toimintasuunnitelma

Heta Rousi ja Harri Kankaanpää (toim.)



Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset

Suomen kansallinen toimintasuunnitelma

Heta Rousi ja Harri Kankaanpää (toim.)

Helsinki 2012

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



YMPÄRISTÖHALLINNON OHJEITA 6 | 2012
Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Merikeskus

Taitto: Ritva Koskinen
Kansikuva: Ympäristöhallinnon kuvapankki, Jouko Pirttijärvi

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Oy, Helsinki 2012

ISBN 978-952-11-4101-0 (nid.)
ISBN 978-952-11-4102-7 (PDF)
ISSN 1796-1645 (pain.)
ISSN 1796-1653 (verkkokj.)

ALKUSANAT

Tämän suunnitelman kohderyhmänä ovat ne tutkijat ja viranomaiset, jotka osallistuvat öljyvahingon vaikutustutkimuksiin Suomessa ja erityisesti edellä mainitun toiminnan käynnistämisestä vastaavat tahot. Suunnitelma toimii myös taustalähteenä mineraaliöljyjen tunnetuista vaikutuksista sekä esimerkkinä ekologisten vaikutustutkimusten organisoinnista. Raportissa käytetään termiä ”öljyvahinko” kuvaamaan sekä tahattomia että tahallisia mereen kohdistuvia mineraaliöljypäästöjä.

Suunnitelma otetaan käyttöön tilanteessa, jossa ympäristöviranomaiset (SYKE) arvioivat mereen päätyneen öljyvahingon uhkaavan meriluontoa huomattavasti. Tällöin mereen on päätenyt tyypillisesti useita kymmeniä, satoja tai jopa tuhansia kuutiometrejä öljyä, tai öljyn uhkaama luonto on erityisen herkkä öljyn vaikutuksille. Arvio tarpeesta käynnistää suunnitelman mukainen toiminta tehdään tapauskohtaisesti ympäristövahinkojen torjunnasta vastaavan yksikön ja tässä esitettävän ekologisen toimintasuunnitelman vastuuhenkilön yhteistyönä. Suunnitelmassa mainitut tahot ovat suullisesti sitoutuneet noudattamaan tässä kuvattuja toimintaohjeita.

Suunnitelman B-osiossa on kuvattu käytännön toimenpiteitä merkittävän öljypäästön tapauksessa.

Helsingissä 15.3.2012

Tekijät: Harri Kankaanpää, Heli Haapasaari, Martti Hario, Meri Hietala, Kirsten Jørgensen, Kari Lehtonen, Erkki Leppäkoski, Ulla Luhtasela, Kaarina Lukkari, Minna Ronkainen, Heta Rousi, Riikka Venesjärvi, Pirjo Sainio, Niina Viitala, Pekka Vuorinen

Versio 1.0

Versiopäivitykset merkitään tähän (päivitykset näkyvät verkossa osoitteessa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=202&lan=fi>).

SISÄLLYS

1 Johdanto.....	9
2 Suunnitelman laatijat ja valmiusryhmän yleinen kokoonpano	10
3 Tausta.....	12
3.1 Itämeren haavoittuvuus öljyvahingon seurauksena	12
3.2 Öljyvahinkojen seurauksia	12
3.3 Öljyvahinkojen havainnointi ja rikosoikeudellinen esitutkinta.....	15
3.4 Öljyn seuranta ja PAH-yhdisteiden kertyminen Itämerellä.....	17
3.5 Öljyn koostumus, luonne ja muuntuminen.....	18
3.6 Öljyperäisten hiilivety-yhdisteiden sedimentaatio.....	20
3.6.1 Öljyn ominaisuuksien vaikutukset sedimentoitumiseen	21
3.6.2 Pohjanlaadun vaikutus öljyn kertymiseen, ja öljyn aiheuttama hapenkulutus.....	23
3.7 Öljyn kemiallinen ja mikrobiologinen muuntuminen	24
3.8 Öljyn fysiologiset vaikutukset ja vaikuttavat komponentit	27
3.9 Öljyn sisältämät PAH-yhdisteet, ja vaikutukset ihmisen terveyteen	28
3.10 Vaikutustutkimuksiin sopivat eliöt, ja niiden levinneisyys.....	30
3.10.1 Öljyvahingon vaikutukset meriluontoon	30
3.10.2 Indikaattorieliöiden valinta	32
3.10.3 Vesikasvit ja levät.....	33
3.10.4 Kasviplankton	34
3.10.5 Eläinplankton.....	35
3.10.6 Kalat.....	35
3.10.7 Pohjaeläimet	36
3.10.8 Hylkeet	37
3.10.9 Linnut	38
3.10.10 Lajien levinneisyysmallinnus	39
3.11 Kemiallisten analyysien antama tieto.....	41
4 Toiminta öljyvahinkotilanteessa	45
4.1 Ekologisten vaikutusten tutkimisen vastuunjako öljyvahinko- tilanteessa	47
4.1.1 Valmiustason ylläpitäminen ÖVA-toiminnassa	48
4.2 Tukitoiminta	53
4.2.1 Käytettävissä oleva näytteenottokalusto eri merialueilla	54
4.2.2 Yleisiä huomioita näytteenottoaluksista	58
4.3 Näytteenoton ajallinen ja paikallinen kohdentaminen	59
4.4 Näytteenoton taajuus ja kesto	60
4.5 Merivesinäytteenotto	61
4.5.1 Saatujen merivesitulosten arviointi.....	62

4.6 Öljyn rikosoikeudellinen öljynäytteenotto ja analyysimenetelmä.....	65
4.7 Sedimentoituva aines.....	69
4.7.1 Sedimenttinäytteiden kerääminen.....	69
4.8 Pohjaeläinnäytteenotto	71
4.9 Planktiset näytteet	72
4.10 Muu näytteenotto eliövaikutusten tutkimukseen.....	72
4.11 Kalanäytteiden kerääminen	73
4.11.1 Käytännön ohjeet kalojen kemiallisten analyysien näytteenottoon	73
4.11.2 Käytännön ohjeet kalojen aistinvaraisen analyysin näytteenottoon	74
4.12 Kalojen käytettävyys elintarvikkeena.....	75
4.13 Molekyyli- ja solutason vasteet	77
5 Vesiympäristön kemiallisen ja ekologisen tilan arviointi.....	79
5.1 Kemialliset analyysit	79
5.1.1 PAH-yhdisteiden ja alifaattisten hiilivetyjen analyysi	79
6 Kokonaisvaikutusarvion laadinta	81
7 Raportointi ja tiedotus.....	83
7.1 RASFF - Euroopan nopea hälytysjärjestelmä	83
8 Kustannusten kattaminen	84
9 Tarpeet lisäselvityksille.....	89
9.1 Valikoitujen eliöiden öljyhiilivetyjen ja biologisten vasteiden perustasojen analyysit vuonna 2013 tai 2014	89
9.2 Rannikon meriveden taustapitoisuudet	90
9.3 Arvio kustannuksista	90
10 Kiitokset.....	92
Lähteet.....	93
Liitteet	99
Kuvailulehdet.....	103

OSA A

1 Johdanto

Heta Rousi, Heli Haapasaari, Harri Kankaanpää

Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Ympäristöministeriö (YM) käynnistivät vuoden 2011 keväällä projektin kansallisen öljyn ekologisten vaikutusten tutkimus- ja toimintasuunnitelman laatimiseksi Suomen merialueita varten. Suunnitelma on ensisijaisesti varautumista öljyvahinkotilanteisiin. Tarve toimintasuunnitelman laadinnalle perustuu Helsingin komission (HELCOM) suositukseen (HELCOM Recommendation 12/9, http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec12_9/). HELCOM-suositus sisältää viisi erillistä osiota, joiden tulisi tutkimussuunnitelman ja seurantatutkimusten osalta kattaa: 1. tutkimustyön järjestäminen, 2. fysikaaliset ja kemialliset tutkimukset, 3. ekologiset tutkimukset, 4. kalastotutkimukset ja 5. dokumentointi (tässä ohjeistuksessa dokumentointiin ei kuitenkaan mennä syvällisesti, vaan kukin ÖVA-organisaatio vastaa itse tutkimustulostensa osaraportoinnista, ja lisäksi osaraporttien tulokset kootaan loppuraportissa).

Sisäasianministeriön julkaisemassa suuronnettomuussuunnitelmassa (Sisäasiainministeriö 2008) todetaan, että merellisiä alusöljyvahinkoja ajatellen on tehostettava ennakkovarautumista. Suomen öljyntorjuntavalmius on hyvä, mutta ei riittävä. Ennakkovarautumiseen kuuluu torjunnan kehittämisen lisäksi öljyn ekosysteemivaikutusten tutkimuksen suunnittelu kansallisella tasolla. Suomessa tapahtuu vuosittain noin 2 000 öljyvahinkoa, joista suurin osa on pieniä, maalla tapahtuvia vahinkoja.

Nykyisellään Suomenlahdella kuljetetaan noin 150 miljoonaa tonnia öljyä vuodessa, ja kuljetusmäärän ennustetaan kasvavan lähivuosina yli 260 miljoonaan tonniin, kun Venäjän uudet öljyterminaali- ja öljyputkihankkeet toteutuvat. Yleisimmin alusöljyvahinko aiheutuu aluksen omasta polttoaineesta, joka pääsee haverin seurauksena mereen. Öljyvahingon jälkeen öljyntorjuntakaluston avulla pyritään estämään lisävahinkojen sattuminen sekä poistamaan veden pinnalla kelluva öljy ennen kuin öljy pääsee pilaamaan rantoja.

Alkukeväästä vuonna 1979 Latvian Ventspilsissä tapahtuneen M/T Antonio Gramscin alusöljyvahingon vaikutuksiin perustuen Suomeen tehtiin vahingon tilan selvitystä varten öljyn ekologinen tutkimus- ja pelastusohjelma. Kyseinen ohjelma sisältää arvokasta tietoa, mutta se on osittain vanhentunut erityisesti organisaatorakenteiden sekä tutkimusmenetelmien osalta. Tutkimusmenetelmien kehityksen myötä myös tietämys öljyn käyttäytymisestä luonnossa sekä ekosysteemin haavoittuvuudesta ja vasteista on lisääntynyt ja tarkentunut.

2 Suunnitelman laatijat ja valmiusryhmän yleinen kokoonpano

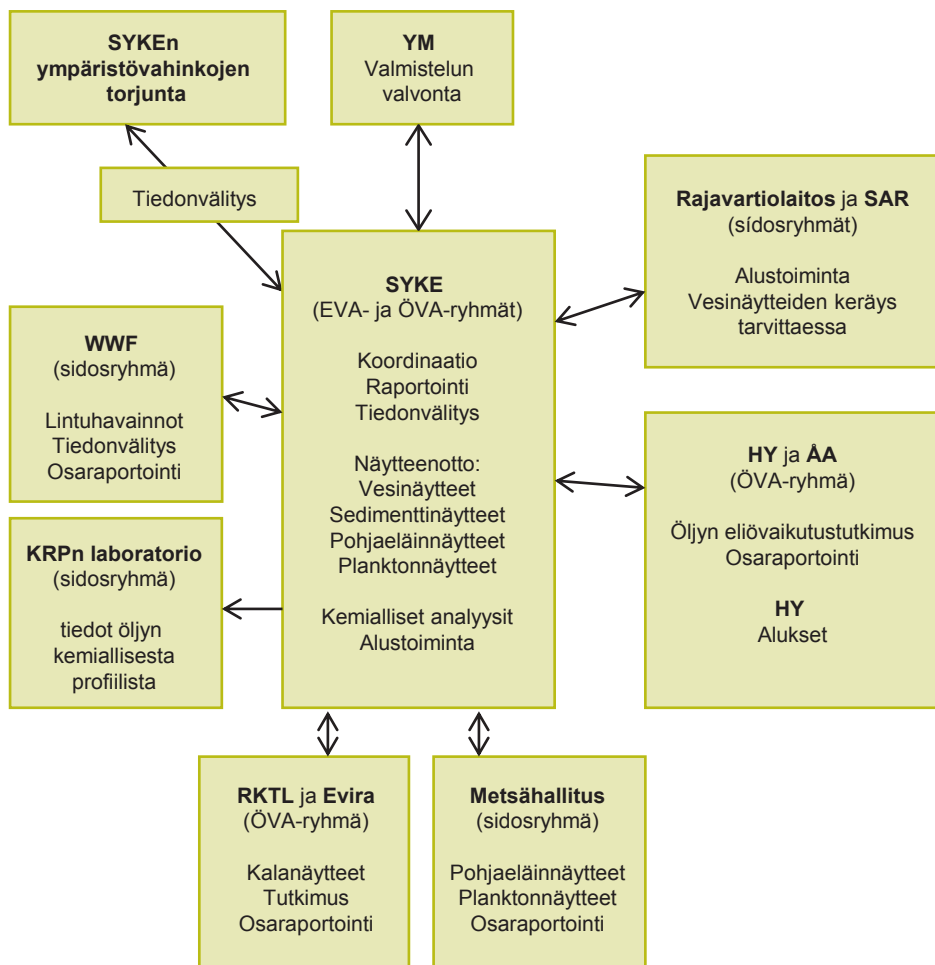
Heta Rousi, Harri Kankaanpää, Heli Haapasaari

Itämeren öljyvahinkotilanteiden ekologisia vaikutuksia käsittelevän toimintasuunnitelman luomiseksi koottiin kansallinen asiantuntijaryhmä, joka koostui alan asiantuntijoista. Tässä tutkijoista ja viranomaisista koostuvassa ydinryhmässä oli mukana edustajia seuraavista organisaatioista: SYKE (vastuutaho), YM (valmistelun valvonta), Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL), Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, Helsingin yliopisto (HY), Åbo Akademi (ÅA) ja Keskusrikospoliisi (KRP).

Öljyn ekologisten vaikutusten tutkimusryhmän (**ÖVA-ryhmän**) muodostavat varsinaiseen ekologisten vaikutusten selvitystoimintaan liittyvät tahot: SYKE, RKTL, Evira, HY ja ÅA. ÖVA-ryhmä vastaa öljyn ekologisten vaikutusten selvittämiseen liittyvistä toimista (**ÖVA-toiminta**).

Öljyvahinkotilanteessa yllä kuvattu ÖVA-ryhmä tekee yhteistyötä useiden sidosryhmien kanssa, joita ovat aluksia ylläpitävät tahot sekä analyysi-, näytteenotto- ja kenttäasiantuntijat. Alustoimintaverkostoon kuuluvat Rajavartiolaitos, merivoimat, pelastuslaitokset, Meripelastusseura (SAR), Helsingin Yliopisto (Tvärminnen Eläintieteellinen Asema) ja SYKE (tutkimusalukset Muikku ja Aranda). Näytteenotto- ja kenttätötoiminnassa ydinryhmä on yhteydessä WWFn edustajaan sekä SYKEN ja Metsähallituksen kenttätöimijoihin. Analyysitoiminnassa yhteistyökumppaneita ovat muun muassa SYKEN laboratorio, MetropoliLab (ja mahdolliset muut laboratorioalan alihankkijat) sekä Keskusrikospoliisin Rikostekninen laboratorio, josta ÖVA-ryhmä saa tiedot koskien öljyn kemiallista profiilia.

Alla oleva kaavio kuvaa niitä yleisperiaatteita, joilla viranomaisten yhteistoiminta öljyvahingon yhteydessä tapahtuu. Kaaviossa mainitaan myös torjuntatoiminta, vaikka se ei kuulu tämän suunnitelman piiriin. **Täsmällinen ekologisten vaikutusten tutkimuksien toimintamalli on kuvattu toimintaosioissa kappaleissa 4. ja 4.1. (Kuvat 3, 4 ja 5).** Kuva 3 antaa ohjeet toimintaan vaihe vaiheelta ja kuvat 4 ja 5 antavat yleiskuvan öljyvahingon aikaisesta ÖVA-toiminnasta.



Kuva 1. ÖVA-ryhmän ja sidosryhmien yleinen kokoonpano ja vastuualueet. (ÖVA-ryhmä = koko öljyvaikutustutkimusryhmä ja EVA = SYKE:n sisäinen, ÖVA-toiminnasta vastaava valmiusryhmä).

3 Tausta

3.1

Itämeren haavoittuvuus öljyvahingon seurauksena

Heta Rousi, Heli Haapasaari

Itämeri on ominaisuuksiensa (murtovesi, ilmasto-olosuhteet, sulkeutuneisuus /hidas veden vaihtuminen, rannikkojen rikkonaisuus, eliöstön ainutlaatuisuus) vuoksi luokiteltu erityisen herkäksi merialueeksi ja öljysaaste vaikuttaa haitallisesti Itämeren herkkään ekosysteemiin. Merenkulun ympäristönsuojelulaki (1672/2009) kieltää öljyn ja öljypitoisen seoksen päästämisen veteen. Murtovesi on haastava ympäristö useille eliöille ja etenkin Itämerellä avomerien pohjaekosysteemeissä elää vain harvoja lajeja. Eliöt tarjoavat ekosysteemille toiminnallista puskurikykyä ja vähälajisessa yhteisössä yhdenkin toiminnallisesti tärkeän lajin häviäminen voi muuttaa koko ekosysteemin.

Rannikkomme rikkonaisuuden vuoksi useita satoja kilometrejä rantaviivaa voi suuressa öljyvahingossa likaantua, mikäli öljyä ei saada torjuttua avomerellä ja pysäytettyä rannikolla ennen sen ajautumista rantaan.

3.2

Öljyvahinkojen seurauksia

Heta Rousi, Erkki Leppäkoski, Riikka Venesjärvi

Alla on kuvattu eräitä Itämerellä tapahtuneita öljyvahinkoja ja niiden aiheuttamia vaikutuksia.

M/T Palva haaksirikkoutui Kökarin saaristossa Lounais-Suomessa toukokuussa 1969. Öljyvahingon yhteydessä mereen pääsi 120 - 150 tonnia venäläistä raakaöljyä leviten 200 km² alueelle (Leppäkoski 1973). Alueen kivikkoiset rannat, alttius merenkäynnille ja voimakkaat virtaukset auttoivat öljyn huuhtoutumista (Mustonen ja Tulkki 1972). Öljystä havaittiin merkkejä myös sedimenteissä. Jotkin äyriäislajit

hävisivät alueelta tilapäisesti öljyvahingon ja kemiallisten puhdistustoimien jälkeen. Välittömästi öljyvahingon jälkeen havaittiin kuolleita kaloja ja rantavyöhykkeen muuta eliöstöä kuolleen (Pelkonen ja Tulkki 1972). Arviolta 25 - 33 % pesivästä haahkakannasta (*Somateria mollissima*) kuoli saastuneella alueella 1969 (Soikkeli ja Virtanen 1972). Kökarin saaristoekosysteemi pystyi ilmeisesti palautumaan Palvan onnettomuudesta melko tehokkaasti (Pelkonen ja Tulkki 1972). Tosin vuoden päästä öljyvahingosta öljyn levinneisyysalue oli sama, määrä vain oli vähentynyt. Kaikkia öljyvahingon eliöstövaikutuksia tai sen pitkäaikaisvaikutuksia ei kuitenkaan todennäköisesti havaittu tutkimusten suppeuden vuoksi (Mustonen ja Tulkki 1972).

M/T Tsesis ajoi karille Ruotsissa Södertäljen saaristossa, Itämeren pääaltaan pohjoisosassa, lokakuussa 1977. Muutaman päivän aikana mereen vuosi noin 1100 tonnia polttoöljyä, josta noin 400 tonnia jäi saaristoon puhdistustoimien jälkeen (Lindén 1979). Öljyvahingolla oli vakavia seurauksia alueen ekosysteemille. Öljy sedimentoitui (hautautui pohja-aineksen sisään) nopeasti ja sillä oli vahingollisia vaikutuksia etenkin pohjaeläimistöön. Varsinkin liejusimpukan (*Macoma balthica*) öljyhiilivetypitoisuudet kohosivat huomattavan suuriksi (Elmgren ym. 1979). Alueen sinisimpukoiden (*Mytilus trossulus*) kiinnittyminen pintaan byssus-rihmojen avulla heikentyi (Lindén ja Foberg 1979), ja öljyllä havaittiin myös huomattavia vaikutuksia rakkolevävyöhykkeen (*Fucus* spp) pohjaeläimistöön (Notini 1979). Ekosysteemin toipumiseen alueella arvioitiin kuluvan 2 - 3 vuotta (Lindén ym. 1979). Vahingosta peräisin olevat sedimentoituneet öljyhiilivedyt ovat kuitenkin saattaneet aiheuttaa subletaaleja pitkäaikaisvaikutuksia alueen eliöstössä.

Tankkialus M/T Antonio Gramsci ajoi karille Latvian rannikolla helmikuussa 1979. Mereen pääsi 5 000 - 6 000 tonnia raakaöljyä. Öljy ajelehti pohjoisella Itämerellä kaksi - kolme kuukautta ennen ajautumistaan Tukholman ja Ahvenanmaan saaristoihin. Suurelta öljykatastrofilta vältyttiin vuodenajan, säätilan ja edullisen tuulen suunnan ansiosta (Pfister 1980). Myös kauan jatkunut säistyminen (öljyn muuntuminen) alensi öljyn haitallisia vaikutuksia. Ajelehtineella öljyllä havaittiin selviä vaikutuksia muun muassa rantavyöhykkeen pohjaeläimistöön (Bonsdorff 1980, Bonsdorff 1981) ja vesikasvillisuuteen (Suomalainen 1980). Öljy-yhdisteet aiheuttivat todennäköisesti myös epämuodostumia kalanpoikasille (Parmanne ja Axell 1980). Lisäksi öljy aiheutti huomattavaa vahinkoa huhtikuussa Lågskärissä pesintänsä aloittaneille haahkoille (*Somateria mollissima*). Harmaahylkeet (*Halichoerus grypus*) säästyivät öljyn vaikutuksilta, koska ne poikivat keväällä 1979 öljyvahinkoalueen itäpuolella Suomenlahden suulla (Stenman 1980). Öljy-yhdisteitä jäi mereen ja sedimenttiin ja sen aineosia kertyi ekosysteemiin, aiheuttaen mahdollisia subletaaleja pitkäaikaisvaikutuksia.

M/S Eira ajoi karille Merenkurkussa Pohjanlahdella elokuussa 1984. Noin 200 tonnia raskasta polttoöljyä levisi 1500 km² alueelle rannikolle ja merialueelle pääosin Merenkurkun Suomen puolelle (Nyman ym. 1987). Öljyn vaikutukset ekosysteemiin levittäytyivät huomattavasti laajemmalle kuin näkyvä öljysaaste antoi ymmärtää. Myös torjuntatyö epäonnistui riittämättömien puomien ja kovan myrskyn takia. Öljyvahingon jälkeen Eirasta peräisin olevia öljy-yhdisteitä oli sedimenttinäytteissä pieniä määriä ja niitä kertyi öljyvahinkosyksenä suurina pitoisuuksina liejusimpukoihin (Nyman ym. 1987). Siiat (*Coregonus lavaretus*) ja silakat (*Clupea harengus membras*) poistuivat alueelta tilapäisesti ja silakan ja tokon (*Gobiidae*) planktisissa poikasissa havaittiin epämuodostumia ja ne olivat poikkeuksellisen pienikokoisia (Hudd ym. 1987). Öljyllä oli myös välittömiä vaikutuksia alueen vesilinnustoon (Pahtamaa ym. 1987). Öljyn heikentämät linnut houkuttelivat merikotkia (*Haliaeetus albicilla*), jotka kärsivät öljyn vaikutuksista nieltään sitä. Tutkimukset osoittivat, että öljyvahinkojen ympäristövaikutukset jäivät ennalta pelättyä vähäisemmiksi, vaikka pitkäaikaisvaikutuksia ei kolmivuotisen tutkimusjakson aikana saatukaan selville (Koivusaari 1987).

Tankkialus M/T Antonio Gramsci ajoi karille myös Porvoon majakan läheisyydessä, Suomenlahdella helmikuussa 1987. Tällöin mereen pääsi 570 tonnia raakaöljyä aiheuttaen esimerkiksi paikallisia vaikutuksia kalansaaliiseen saastuttaen lohiryisiä. Alueen lintuyhdyskuntien kärsimät vahingot olivat vähäisiä, sillä öljy kulkeutui vastarannalle lintujen oleskelupaikasta katsoen.

Valtamerillä tapahtuneista, vakavista öljyvahingoista mainittakoon Exxon Valdez -öljysäiliöaluksen haaksirikkoutuminen riuttaan pohjoisessa Prinssi Williamin salmessa Alaskassa maaliskuussa 1989. Onnettomuus on esimerkki arktisella alueella tapahtuneesta, yhdestä maailman historian tuhoisimmasta, öljyvahingosta. Tapahtuma-alueen ilmasto on samankaltainen verrattuna Itämeren alueen ilmastoon, mutta etenkin suolapitoisuus ja vuorovesi tekevät elollisesta ja elottomasta ympäristöstä erilaisen.

Exxon Valdez -öljysäiliöaluksen onnettomuudessa n. 42 000 m³ raakaöljyä saastutti ainakin 1990 kilometriä luonnontilaista rantaekosysteemiä (Peterson ym. 2003). Öljyvahinko aiheutti massakuolleisuutta alueen merieläimistölle, ja arviolta 250 000 vesilintua, 1800 merisaukkoa (*Enhydra lutris*) ja 300 kirjohyljettä (*Phoca vitulina*) kuolivat heti onnettomuuden jälkeen. Akuuttien kuolemien lisäksi onnettomuus aiheutti pitkäaikaisia, yli vuosikymmenen kestäviä, subletaaleja muutoksia ekosysteemissä ilmentyen eri eläinryhmissä kuten kaloissa, merisaukoissa ja linnustossa epämuodostumina, lisääntymishäiriöinä ja todennäköisyytenä jäädä herkemmin saaliiksi (Peterson ym. 2003). Taloudellisia vaikeuksia kalastajille aiheuttivat kyttyrälohen (*Onchorhynchus gorboscha*) ja tyynenmeren sillin (*Clupea pallasii*) kantojen romahtamiset.

Öljyvahinkojen havainnointi ja rikosoikeudellinen esitutkinta

Niina Viitala, Heli Haapasaari

Veteen jouduttuaan öljyn leviäminen ohueksi kerrokseksi alkaa, ja se ajelehtii virtaus-ten ja tuulen vaikutuksesta. Öljyvahingoissa öljyn levinneisyyden ja lautan paksuim-pien kohtien sijainnin ajantasaisen tiedustelutiedon saaminen torjuntatöiden tueksi on oleellista. Tilannekuva täydentävät monet eri tietolähteet, mutta keskeisessä roolissa ovat Rajavartiolaitoksen Dornier-valvontalentokoneet, joihin on asennettu ympäristövalvontalaitteistot. Näillä laitteistoilla voidaan havaita öljylauttoja jopa 20 merimailin päästä koneen lentoreittiin nähden. Laitteisto mahdollistaa havainnot myös huonossa säässä ja öiseen aikaan. Öljyvahingon laajuuden ja öljyn sijainnin määrittämisessä voidaan käyttää myös Rajavartiolaitoksen helikoptereita sekä satelliit-tikuvia. Öljyntorjunta-aluksissa on lisäksi laitteistoja, joiden avulla voidaan määrittää öljylautan laajuus, mutta näiden laitteiden mittausetäisyys on niin pieni, että niillä ei saada laajan öljyvahingon yhteydessä kartoitettua öljyntyneen alueen kokonais-laajuutta.

Myös pienempien merellisten öljyvahinkojen havainnoinnissa näytteenotossa ja tutkinnassa Rajavartiolaitoksen ilma-aluksilla on keskeinen rooli. Merellisissä öljy-vahingoissa Rajavartiolaitoksella on oikeus määrätä hallinnollinen öljypäästömaksu alukselle, joka päästää mineraaliöljyä Suomen talousvyöhykkeen sisäpuolella. Maksun suuruus määräytyy aluksen bruttovetoisuuden ja päästön määrän mukaan merenkulun ympäristösuojelulain yhteydessä olevan taulukon perusteella. Alusten öljyvahinkojen esitutkinta on keskitetty Turkuun Länsi-Suomen merivartiostoon.

Hallinnollisen öljypäästömaksun langettamiseksi, tulee todeta, että meressä oleva öljy on mineraaliöljyä. Keskusrikospoliisin Rikosteknisessä laboratoriossa öljynäyt-teistä voidaan määrittää, minkä tyyppistä öljyä luontoon on joutunut: kevyttä tai raskasta polttoöljyä, maaöljypohjaista tai synteettistä voiteluöljyä, kasviöljyä, jne.

Rikosoikeudellisessa esitutkinnassa tulee selvittää mahdollinen öljyvahingon aiheuttaja. Tutkinnan kannalta on oleellista, liittyykö siihen tahallisuutta tai huo-limattomuutta. Päästön lähde selvitetään teknisen tutkinnan avulla. Sekä merestä että mahdollisista päästökohteista otetaan Rajavartiolaitoksen tai poliisin toimesta öljynäytteet, jotka toimitetaan Keskusrikospoliisin Rikostekniseen laboratorioon. Teh-tävien öljyanalysien avulla selvitetään, millaisesta öljystä on kyse, ja onko luonnosta otettu päästönäyte ja mahdollisesta päästäjästä otettu vertailunäyte samaa alkuperää.

Näytteenotolla on kiire, sillä öljyn koostumus muuttuu jatkuvasti luonnossa eri tekijöistä johtuen.

Alusöljyvahingon yhteydessä torjunnan kannalta on tärkeä tietää heti öljyvahingon satuttua öljyn fysikaaliset ominaisuudet, minkälaisesta öljystä on kyse (mm. tiheys, viskositeetti, jähmettymispiste, vesipitoisuus, vahapitoisuus) ja miten öljy muuttuu ("säistyminen", emulgoituminen, haihtuminen, viskositeetin muutos) vedessä ollessaan.

Öljyvahinkoaluksen tankeista otettuja öljynäytteitä tulee säilyttää kontrolloiduissa olosuhteissa.

Kun öljy likaa rantoja, omaisuutta ja laitoksia, saattaa olla tarpeen analysoida ja verrata öljyvahinkoaluksesta otettua öljyä ja tietyn kohteen likaantumisen aiheuttanutta öljyä - tämä tieto on tarpeen korvauksenhakuprosessissa.

Suuren alusöljyvahingon aiheuttama öljypäästön laatu (kemiallinen profiili) on edellä mainitun esitutkintatoiminnan kautta ÖVA-ryhmän saatavissa.



Ilmakuva Janra-aluksen nostosta Ahvenanmaan vesillä 2001
(Kuva: Rajavartiolaitos).

Öljyn seuranta ja PAH-yhdisteiden kertyminen Itämerellä

Harri Kankaanpää, Kaarina Lukkari

Suomessa SYKEN merikeskus vastaa Itämeren avomerialueen öljypitoisuuksien seurannasta. Kohdematriisina on meren pintavesi (pinnanalusvesi). Muista väliaineista ei seurata öljyn kokonaispitoisuutta tai yksittäisten öljyperäisten aineiden pitoisuuksia. Varhaisimmat suomalaiset havainnot pintaveden öljy-yhdisteistä meressä ovat vuodelta 1977. 1970- ja 1980-luvuilla tehdyt havainnot ovat pääasiassa kevät- tai kesäkaudelta, mutta 1990-luvulta alkaen öljyseurantaa on tehty myös talviaikana. Mittaukset tehdään Hallitustenvälisen oseanografisen komission (IOCn) protokollaan pohjautuvalla akkreditoidulla menetelmällä, jonka perustana on hiilivety-yhdisteiden uuttaminen merivedestä heksaaniin ja heksaaniuutteiden fluoresenssin mittaaminen raakaöljylle tyypillisellä aallonpituusalueella. Tämä yksinkertainen, herkkä ja kustannustehokas menetelmä antaa tuloksena meriveden sisältämän liukoisen ja hajonneen öljyn kokonaispitoisuuden. Menetelmä ei siis kerro, mistä aromaattisista hiilivedyistä mitattava fluoresenssi on peräisin. Ideaalitapauksessa tämän menetelmän tuottamaa summaparametritulosta tarkastellaan merivedestä erikseen analysoitujen aromaattisten hiilivetyjen mittaustulosten kanssa.

Hiilivetyjen pitoisuuden on todettu olevan Itämeren pintavedessä suurempi talvella kuin kesällä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että valo ja lämpö edistävät hajoamista, haihtumista ja mikrobiologista muuntumista (Pikkarainen ja Lemponen 2005). Viime vuosien aikana Itämeren pinnanalusveden kokonaisöljypitoisuudet ovat kesäaikana olleet varsin pieniä ($0,1\text{--}0,3\ \mu\text{g l}^{-1}$). Talvikaudella vastaavat pitoisuudet ovat suurempia ($0,4\text{--}0,8\ \mu\text{g l}^{-1}$). Talvihavainnot ovat pienemmän virheensä takia luotettavampia kuin kesäajan havainnot. Öljyn ajallinen pitoisuusvaihtelu on analoginen ravinteiden pitoisuusvaihtelun kanssa: talviaikaiset pitoisuusarvot kertovat parhaiten öljypitoisuuksien kehityksestä. Näistä syistä johtuen talviaikaisten havaintojen suhteellinen osuus öljypitoisuuksien seurannassa todennäköisesti kasvaa jatkossa.

Suomen rannikkoalueilta ei ole öljypitoisuuksia koskevaa HELCOM-seuranta-aineistoa, mutta avomereltä kerättyä aineistoa on laajalta asemaverkostolta Itämeren alueelta, pois lukien Gotlannin eteläpuolinen Itämeri. Yleisesti ottaen nykyiset (v. 2012) pinnanalusveden öljypitoisuudet ovat pieniä. Kontaminaatorajana pidetään IOCn, (International Oil Company) määrittelemää arvoa $1,0\ \mu\text{g l}^{-1}$, ja pitoisuudet ovat pienentyneet Itämeressä selvästi esimerkiksi verrattuna 1970- ja 1980-luvun huippuarvoihin (Kankaanpää 2008). Vähenemistä on edelleen havaittavissa myös 1990- ja 2010-lukujen öljypitoisuuksien välillä. Meriveden öljypitoisuuksissa on myös selviä alueellisia eroja: esimerkiksi Perämerellä ja Selkämerellä pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin Suomenlahdella tai pohjoisella Itämerellä (Pikkarainen ja Lemponen

2005). Nämä alueelliset erot taustapitoisuuksissa on syytä huomioida tehtäessä johdopäätöksiä öljyvahingon aiheuttamasta pitoisuuksien kasvusta merivedessä.

Edellä mainittu fluoresenssimittaukseen perustuva summaparametrimenetelmä on suositeltava öljyvahingon jälkeisten öljypitoisuuksien seurantaan. Näin saadaan arvokasta taustatietoa öljyn levinneisyydestä (tilanteen kehittyminen). Tätä tietoa voidaan myös käyttää apuna kohdennettaessa varsinaisia vaikutustutkimuksia. Menetelmän käyttö varsinaisen öljylautan alueella ei kuitenkaan ole suositeltavaa. Hankalien olosuhteiden ja suuren saastumisvaaran vuoksi edellä mainitun tilanteen tulokset kertoisivat lähinnä pinnalla kelluvan öljyn fluoresenssista, eikä varsinaisesta meriveden öljypitoisuudesta.

Vaikka protokollaa käytetään HELCOM COMBINE -seurannassa ainoastaan pintavesinäytteille, menetelmä voi antaa arvokasta lisätietoa myös siitä, miten syvälle vesipatsaassa öljy-yhdisteitä on levinnyt. Menetelmän herkkyydestä johtuen sillä voi helpommin saada yleiskuvan meriveden öljyjakaumasta kuin esimerkiksi kromatografisilla menetelmillä. Esimerkiksi kaasukromatografia/massaspektrometria voi antaa erittäin selektiivistä yhdistetietoa, mutta kyseisten menetelmien herkkyys ei välttämättä ole riittävä meriveden öljyhiilivetyjen analysointiin. Aiemmissa selvityksissä PAH-yhdisteiden kvantifiointi merivesinäytteistä oli edellä mainitun GC/MS-menetelmän avulla hankalaa, vaikka öljyseurantamenetelmä antoi selkeitä tuloksia. Eri menetelmien käyttö on muun muassa tästä syystä järkevää kohdentaa juuri niille sopiviin kohteisiin ja matriiseihin.

Öljyvahingon yhteydessä öljyn levinneisyyden selvittäminen on osa ÖVA-toimintaa. Menettelyn luonteesta johtuen tämä selvitys tulee siis keskittää alueille, joilla ei enää esiinny varsinaista öljylauttaa tai ei havaita selkeää öljyn pintakalvoa. Toiminnan tavoitteena on todentaa meriveteen liuennut tai levinnyt öljy a) varsinaisen päävaikutusalueen rajalla ja sen ulkopuolella sekä b) päävaikutusalueella sitten kun alueella ei enää esiinny öljylauttaa tai muuten merkittävää määrää öljyä. Näytteenotto on syytä laajentaa pinnanalusvedestä myös hieman syvempiin vesikerroksiin. Toiminta antaa tietoa pitkäaikaisten ekologisten vaikutusten tueksi.

3.5

Öljyn koostumus, luonne ja muuntuminen

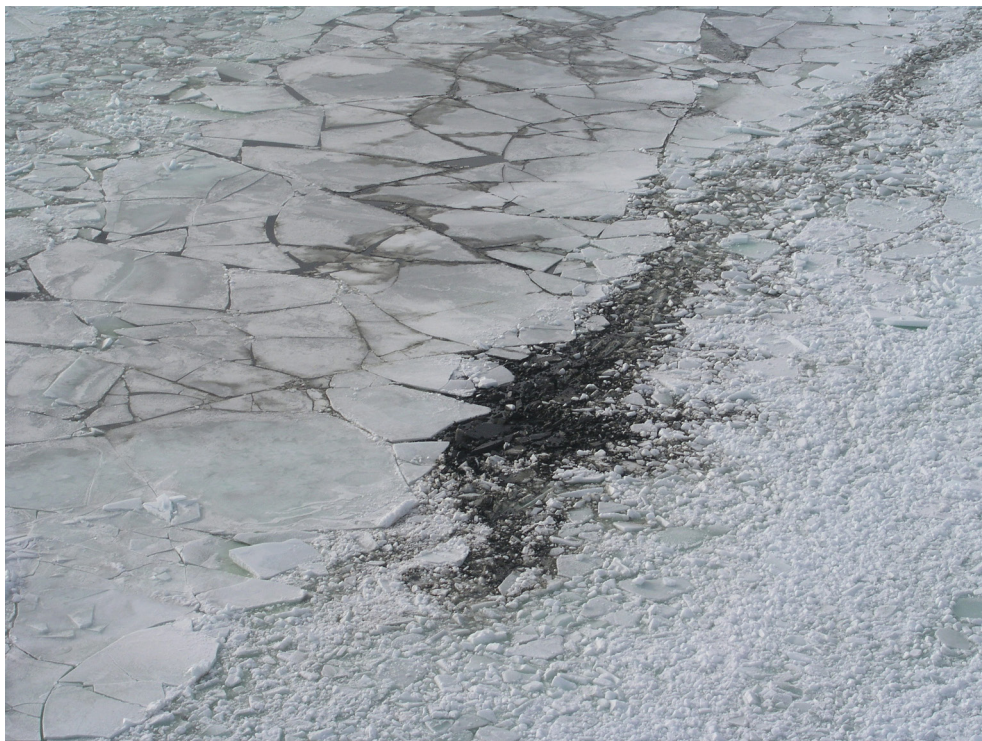
Kaarina Lukkari, Niina Viitala, Kirsten Jørgensen

Raakaöljyn kemiallinen koostumus on hyvin monimutkainen ja vaihteleva, se voi muodostua tuhansista kemiallisista yhdisteistä. Raakaöljyn koostumukseen vaikuttavat esimerkiksi sen lähtömateriaalin laatu ja öljyn synnyn aikana vallinneet olosuhteet, kuten lämpötila ja paine. Tärkeimpiä raakaöljyn sisältämiä yhdisteitä ovat mm. n-, iso- ja sykloalkaanit, aromaattiset hiilivedyt, hartsit ja asfaltaanit. Näistä molekyylipainoltaan kevyimmät haihtuvat, liukenevat ja hajoavat nopeimmin. Esimerkiksi

yhden arvion mukaan Exxon Valdezin onnettomuudessa mereen päätyneestä 42 000 m³:stä raakaöljyä haihtui noin 35 %. Jalostusprosessissa raakaöljyn kemiallinen koostumus muuttuu, mikä vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Öljystä erotetaan esimerkiksi kevyempiä jakeita, jotka voivat olla liukoisempia ja helpommin haihtuvia ja hajoavia.

Öljyn eri yhdisteet ja niiden funktionaalisten ryhmien kemiallinen luonne vaikuttavat öljyn reaktiivisuuteen, käyttäytymiseen, sitoutumiseen, kertymiseen ja kulkeutumiseen ja tätä kautta edelleen öljy-yhdisteiden toksisuuteen meriympäristössä. Funktionaalisten ryhmien perusteella raakaöljystä voidaan erotella esimerkiksi erilaisia fenoli-, kinoliini-, indoli-, tiofeeni-, karbatsoli-, karboksyylihappo-, porfyriini-, ketoni-, furaani- ja asetaattiyhdisteitä. Raakaöljy, erityisesti sen suurimolekyyllisimmät ja raskaimmat hiilivety-yhdisteet, liukenevat huonosti veteen. Osa raakaöljyn yhdisteistä on kuitenkin polaarisia johtuen mm. niiden tyypeä, rikkiä ja happea sisältävistä funktionaalisista ryhmistä. Polaarisuuden kasvaminen esimerkiksi haptumisen yhteydessä lisää joidenkin öljy-yhdisteiden vesiliukoisuutta.

Meriympäristöön joutuessaan öljyn kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet alkavat muuttua. Levitessään veden pinnalle öljy muodostaa ohuen kalvon. Osa öljyn yhdisteistä haihtuu, osa liukenee veteen ja osa voi muodostaa emulsioita tai tervapaloja. Voimakas aallokko voi myös edistää öljyn sekoittumista vesifaasissa. On myös



Öljyä jään seassa (Kuva: Jouko Pirttijärvi/SYKE).

mahdollista, että öljy muodostaa misellejä eli pieniä öljyä sisältäviä pisaroita. Tällaisia havaittiin esim. vuonna 2010 Meksikolahdella sattuneen Macondo (Deepwater Horizon) öljyvahingon jälkeen. Öljy voi myös muodostaa tiiviitä öljyläikkiiä, jotka voivat kellua veden pinnalla tai olla vesipatsaan sisällä. Osa öljy-yhdisteistä voi myös hajota valokemiallisesti tai imeytyä hiukkasmaiseen ainekseen. Erityisesti aggregaatit (keräymät) ja öljyläikät voivat painua pohjaan ja päätyä näin sedimenttiin. Lämpötila vaikuttaa paljon öljyn liukoisuuteen ja käyttäytymiseen. Korkea lämpötila tehostaa yhdisteiden haihtumista, liukenemista ja biologista hajoamista. Vesipatsaassa öljy-yhdisteet altistuvat heti mikrobien toiminnalle eli biohajoamiselle ja biomuuntumiselle. Muutoksia tapahtuu myös niissä öljyn yhdisteissä, jotka ovat laskeutuneet ja sedimentoituneet meren pohjaan.

3.6

Öljyperäisten hiilivety-yhdisteiden sedimentaatio

Kaarina Lukkari, Harri Kankaanpää

Osa meriympäristön hiilivedyistä on peräisin ilmalaskeumasta, osa esimerkiksi maalta tulevasta valumasta. Meren pohjasedimenttien hiilivety-yhdisteiden pitoisuudet riippuvat erityisesti siitä, onko alueen lähellä kuormituslähteitä kuten kaupunkialueita. Hiilivetypitoisuudet yleensä vähenevät kaupunkialueilta kauemmas siirryttäessä.

Veteen päässyt öljy jää usein kellumaan veden pinnalle ja leviää kalvomaiseksi kerrokseksi, mutta eri öljylaatujen viskositeetti ja tiheys vaihtelevat. Raskaammat jakeet laskeutuvat vesimassassa alaspäin ja sedimentoituvat lopulta merenpohjaan vaihtelevan ajan kuluessa. Öljyn ominaisuuksien lisäksi sen laskeutumisnopeuteen vaikuttavat monet ympäristötekijät, mm. veden tiheys (suolaisuus), partikkeliaines, vallitseva tuuli, aallokko ja meriveden virtaukset, jotka voivat auttaa öljyn sekoittumista ja hajaantumista veteen tai vesimassan pinnalla kelluvan öljyn kulkeutumista.

Öljyperäisten yhdisteiden jakauma hiukkasaineksen ja meriveden välillä riippuu yhdisteestä. Jos öljyvahinko tapahtuu ennen Itämeren kasviplanktonkukintojen (ja sitä nopeasti seuraavien sedimentaatiojaksojen) huippua, öljyperäiset yhdisteet päätyvät varsin nopeasti pohjalle. Itämerellä orgaanisen aineksen sedimentaatio on erityisen voimakasta piilevien kevätukinnan jälkeen. Tällöin pohjaan päätyvän materiaalin osuus on suhteellisesti suurempi kuin jos öljyvahinko tapahtuisi sedimentaatiohuippujen jälkeen. Leväkukintojen myötä orgaanisen aineksen määrä kasvaa vesimassassa ja kukinnan jälkeen pohjalle vajoaa orgaanista ainesta vieden mukanaan ainekseen imeytyneet öljy-yhdisteet (Kowalewska ja Konat 1997). Öljyn hiilivetyjä voi sedimentoitua yleisesti myös kuolleiden organismien sisällä niiden otettua yhdisteitä vedestä esim. ravinnon mukana. Planktonkukinnan jälkeen pääosa sedimentoituvasta aineksesta saavuttaa pohjan tyypillisesti noin 1-3 viikon kuluessa.

Orgaanisen aineksen sedimentaationopeuden on arveltu kasvaneen rehevöitymisen seurauksena (Jonsson ja Carman 1994, Emeis ym. 2000). Tämä voisi tarkoittaa myös sedimenttiin päätyneen öljyn nopeampaa hautautumista. Öljyhiilivetyjen kertyminen orgaaniseen ainekseen vaikuttaa myös niiden kulkeutumiseen virtausten mukana alueelta toiselle. Orgaaninen aines on karkeaa mineraaliainesta kevyempää ja laskeutuu hitaammin vesimassassa. Tämän vuoksi se ehtii kulkeutua kauemmas ennen sedimentoitumistaan. On todennäköistä että öljy-yhdisteiden saastuttama hiukkasaine kulkeutuu ja vajoaa huomattavasti varsinaista öljyvahinkoaluetta tai öljylauttaa suuremmalle alueelle. Vesipatsaan virtauskentät voivat kuljettaa saastunutta materiaalia vielä laajemmalle alueelle vuosien kuluessa. Sedimentin pinnan kevyt orgaaninen aines myös sekoittuu takaisin vesimassaan helpommin, esimerkiksi pohja-eläinten tai pohjalla ruokailevien kalojen sekoittaessa sedimentin pintaa. Orgaaninen aines ja sen mukanaan kuljettamat haitta-aineet kertyvät sedimentaatioalueille, joissa virtausolot ovat riittävän rauhalliset, jotta kevytkin materiaali voi laskeutua pohjaan (esim. Schulz ja Emeis 2000, Witt ja Siegel 2000, Witt ja Matthäus 2001).

Öljyn hajaantuminen veteen pieniksi pisaroiksi voi hidastaa sen laskeutumista, mutta auttaa mm. kulkeutumista, haihtumista sekä biologista ja kemiallista hajoamista, koska ympäröivän liuoksen kanssa reagoiva pinta-ala kasvaa (esim. Page ym. 2000). Aallokko voi aiheuttaa hajaantumista, jos aallot ovat riittävän suuria ja murtuvat riittävän terävästi. Erilaiset pinta-aktiiviset aineet, joko keinotekoiset veteen lisättävät aineet tai esimerkiksi jotkin levien erittämät yhdisteet, voivat vaikuttaa syntyvien aaltojen ominaisuuksiin siten, että niiden kyky aiheuttaa öljyn hajaantumista heikkenee. Aallokko vaikuttaa öljyn sedimentoitumiseen myös siten, että sen vaikutuksesta öljyn heikosti haihtuvat ja liukenevat jakeet voivat muodostaa emulsiomaisen massan (esim. Li ja Garret 1998, Li ym. 2007). Öljyn kasaantumisen tiiviiksi lautoiksi voi auttaa sen painumista alaspäin vesimassassa ja edelleen sedimentoitumista pohjaan. Etenkin veteen sekoittunut partikkeliaines, esimerkiksi jokiveden mukanaan kuljettama kiintoaine (savipartikkelit) tai meren pohjasta, sedimentin pinnasta veteen sekoittunut materiaali, nopeuttaa vesimassassa olevan öljyn kerääntymistä ja laskeutumista pohjaan (Sterling ym. 2004).

3.6.1

Öljyn ominaisuuksien vaikutukset sedimentoitumiseen

Kaarina Lukkari, Harri Kankaanpää

1970-luvulla öljyhiilivetyjä arvioitiin olevan Itämeren sedimenttien pintakerroksessa (0-5 cm) keskimäärin noin 10 mg/kg kuiva-ainetta kohti (Dybern ja Fonselius 1981). PAH-yhdisteistä erityisesti 4-6 renkaiset muodot säilyvät pysyvyytensä takia pohjasedimenteissä runsaimpina (Witt ja Trost 1999).

Rannikkovyöhykkeen ulkopuolisella Itämerellä PAH-yhdisteiden pitoisuudet (15 PAH-yhdisteen summa-) liejusedimenteissä ovat vaihdelleet välillä < 10 - 5160 µg/

kg kuiva-ainetta (Witt 1995, Witt ja Trost 1999, Ricking ja Schulz 2002, Pikkarainen 2004). Orgaanisen aineksen pitoisuuteen (TOC) suhteutettuna suurimmat arvot ovat olleet 3000 - 6000 µg/kg TOC.

Osa meriveteen joutuneen öljyn sisältämistä yhdisteistä haihtuu tai hajoaa ennen kuin ne ehtivät laskeutua meren pohjalle ja pääasiassa öljyn raskaimmat ja hitaimmin hajoavat yhdisteet lopulta sedimentoituvat (esim. Neff 1979). Lyhytkestuisimmista (hydrofiilisistä) hiilivedyistä merkittävä osa haihtuu jo ennen päättymistä muihin ekologisiin lokeroihin. Hiilivedyt pyrkivät järjestäytymään merivedessä siten, että hiilikehujen vesiliukoiset ryhmät hakeutuvat vesifaasia kohti ja vettä hylkivät rasvaliukoiset eli lipofiiliset ryhmät hakeutuvat orgaanisen aineksen yhteyteen, mihin niillä on taipumus kertyä (esim. Neff 1979).

Merivedessä öljyn heikosti veteen liukenevat yhdisteet voivat tarttua voimakkaasti vesimassaan sekoittuneeseen kiintoainekseen, erityisesti orgaaniseen ainekseen, mikä nopeuttaa niiden sedimentaatiota. Varsinkin aromaattisten ja polyaromaattisten yhdisteiden sitoutuminen hiukkasiin on voimakasta. Alifaattisista hiilivedyistä tehokkaimmin sedimentoituvat pitkäketjuiset (hydrofobisimmat) yhdisteet, joiden osuus öljytuotteissa on yleensä suurin. Liukoisuuden lisääntyessä kiintoainekseen tarttuneet hiilivedyt irtoavat siitä helpommin. Tämä vaikuttaa yhdisteiden hajotuksen lisäksi mm. niiden sedimentoitumiseen. Esimerkiksi hartsien polaariset ryhmät puolestaan edistävät niiden kiinnittymistä mineraaliaineksen pintaan (esim. Neff 1979).

Pääasiallisesti kaikki öljyssä ja öljyjalosteissa olevat haitalliset yhdisteet sitoutuvat tehokkaasti hiukkasainekseen ja vajoavat sedimentoituvan aineksen mukana pohjaan. Fossiilisista polttoaineista peräisin olevissa hiilivedyissä on tyypillisesti enemmän aromaattisia rakenteita kuin nuoremmassa biosynteettisissä yhdisteissä, mikä vaikuttaa niiden hajoamisnopeuteen (Ehrhardt ja Burns 1999). Hitaasti hajoavia ja sedimentoituvia yhdisteitä ovat esimerkiksi eräät PAH-yhdisteet, hartsit, asfaltaanit ja alkyloidut naftaleenit. Kiintoainekseen voimakkaimmin sitoutuvat suurimolekyylliset ja niukkaliukoiset öljyn yhdisteet voivat pysyä kiinni pohjalle laskeutuneessa sedimentissä ja vallitsevilla olosuhteilla hitaasti hajoavat yhdisteet hautautuvat vähitellen uuden sedimentoituvan materiaalin alle. Jotkin sedimentoituneista öljyn hiilivedyistä voivat säilyä sedimentissä vuosia (Boehm ym. 1987). Pohjalle vajonneet öljyperäiset yhdisteet hajoavat hitaasti etenkin pohja-alueilla, joilla on vähän valoa (kuten Itämerellä lähes aina) ja pieni happipitoisuus (vaihtelee Itämerellä). Osa raakaöljystä voi vajota pohjalle lähes sellaisenaan. Tässä tapauksessa sedimenttiympäristön happitilanne muuttuu voimakkaasti ja hidastaa hajoamista.

Pohjanlaadun vaikutus öljyn kertymiseen, ja öljyn aiheuttama hapenkulutus

Kaarina Lukkari

Itämeren pohjan topografia ja kiintoaineksen laatu vaihtelevat alueittain peruskalliosta ja moreenista aina hyvin orgaanispitoiseen sedimenttiin. Öljyhiilivetyjen voimakkaampi kertyminen orgaaniseen ainekseen vaikuttaa myös niiden pitoisuuksiin Itämeren eri alueiden sedimenteissä. Esimerkiksi PAH-yhdisteiden suurimpia pitoisuuksia esiintyy merialueilla, joiden pintasedimentissä on paljon orgaanista ainesta (Pikkarainen 2005). Lisäksi orgaanisten yhdisteiden hajoaminen voi olla nopeampaa karkeammilla hiekkapohjilla, joiden rakenne ja olosuhteet edistävät sedimentin haptumista ja ennestään pienempi orgaanisen aineksen määrä vähentää hapenkulutusta. Toisaalta hiekka- ja savipohjat ovat kuitenkin usein tyypiltään kulkeutumispohjia, joilta öljyhiilivedyt joko vapaina tai partikkeleihin sitoutuneina vähitellen kulkeutuvat kerrostumisaltille.

Orgaanisten yhdisteiden mikrobiologinen hajoaminen kuluttaa happea ja esimerkiksi vuonna 2010 Meksikonlahdella sattuneen suuronnettomuuden yhteydessä havaittiin öljy-yhdisteiden mikrobiologisen hajoamisen aiheuttavan happipitoisuuden pienenemistä (Rabalais 2011). Jos öljyn sisältämiä hajoavia yhdisteitä päätyisi suuria määriä sedimenttiin, se voisi myös osaltaan aiheuttaa hapen vähenemistä ja vähähappisten, eli hypoksisten olojen kehittymistä. Sedimentin hapettomuutta voisi mahdollisesti aiheuttaa myös tiiviin öljymaton laskeutuminen sedimentin pinnalle, koska se estäisi sedimentin hajotusprosesseissa kuluvan hapen korvautumisen pohjan yläpuolisen veden sekoittumisen kautta. Hypoksia vaikuttaa sedimentissä mm. pohjaeläinten esiintymiseen ja sedimentti-vesi -rajapinnassa tapahtuvaan ravinteiden ja alkuaineiden kierto (Mortimer 1941, Rabalais ja Turner 2001). Hypoksia voi esimerkiksi edistää sedimentin rautayhdisteisiin sitoutuneen fosfaatin vapautumista pohjasta sedimentin huokosveteen ja edelleen pohjan yläpuoliseen veteen raudan pelkistymisen takia. Tällöin pohjasta vapautuva fosfaatti voisi toimia puolestaan lisäravinteena ja kiihdyttää mikrobien hajotustoimintaa. Vesimassan tuottavaan kerrokseen päätyessään se voisi kuitenkin lisätä myös leväkukintoja. Pelkistävien olojen seurauksena sedimentistä voi liueta veteen myös mm. haitallisia metalleja.

Öljyn kemiallinen ja mikrobiologinen muuntuminen

Kirsten Jørgensen, Kaarina Lukkari

Öljyhiilivetyjen biologinen hajottamiskyky on varsin yleinen ominaisuus meriympäristön mikrobeissa. Erityisesti bakteerit ovat tehokkaita hajottamaan öljyhiilivetyjä, mutta myös arkit, sienet, homeet ja hiivat voivat osallistua öljyhiilivetyjen hajottamiseen. Monet eri bakteerilajit pystyvät hajottamaan öljyhiilivetyjä, koska bakteereissa on katalysoivia entsyymejä, jotka edistävät öljy-yhdisteiden asteittaista hajottamista (Fritsche ja Hoffrichter 2005). Bakteerit käyttävät hiilivetyjä hiilienlähteenään omassa metaboliassaan.

Hapellisissa oloissa, kuten merivedessä ja pintasedimenteissä, ensimmäinen askel alifaattisen hiilivetyketjun hajottamisessa on monoterminaalinen hapettaminen, jolloin muodostuu primäärinen alkoholi, joka nopeasti hapettuu aldehydin kautta karboksyylilihapoksi toisen entsyymin avulla. Tämän jälkeen terminaalinen kaksi hiiliatomia sisältävä fraktio pilkotaan ja se metaboloituu bakteereissa rasvahappometaboliareitin kautta. Tämän hapettamisen johdosta hiilivetymolekyyli muuttuu polaariseemmaksi ja vesiliukoisemmaksi. Kun koko ketju on pilkottu, saadaan lopputuotteena hiilidioksidia ja energiaa.

Monoaromaattiset hiilivedyt, kuten bentseeni, ksyleeni ja tolueeni, hapetetaan mono-oksygenaasi-entsyymin avulla, jolloin muodostuu katekoli, joka on polaarisempi ja vesiliukoisempi dioli. Sen jälkeen rengas avataan dioksygenaasin avulla. PAH-yhdisteet, joissa on useampia kuin yksi bentseenirengas, hapetetaan ensin dioksygenaasin avulla.

Tunnetuimmat öljyhiilivetyjä hajottavat bakteerilajit ovat gram-negatiiviset *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Acinetobacter* ja *Xanthomonas* sekä gram-positiiviset *Mycobacterium*, *Arthrobacter* ja *Bacillus*. Uusien DNA-tutkimusmenetelmien avulla on kuitenkin todettu, että monilla muilla lajeilla on tämä ominaisuus. Merivedessä öljyjä on todettu rikastuvan erityisesti esim. gamma-proteobakteereihin kuuluviin *Oceanospirillum* (Hazen ym. 2010) ja *Thalassolituus* (Yakimov ym. 2004) -lajeihin.

Öljyhiilivedyt hajoavat myös hapettomissa olosuhteissa, vaikka hajoamisnopeus voi olla puolet hitaampi (esim. Salminen ym. 2004, Björklöf ym. 2008). Hapettomissa oloissa tapahtuvan hajoamisen reitit ovat monimutkaisempia johtuen siitä, että anaerobiset bakteerit voivat käyttää hapen sijasta muita elektronien vastaanottajia. Energiatehokkuuden mukaisessa järjestyksessä nämä elektronien vastaanottajat ovat nitraatti, rauta (III), mangaani (VI) ja sulfaatti. Tämän jälkeen öljyhiilivedyt voivat hajota fermentaatiossa ja metanogeneesissä (Zengler ym. 1999). Hiilivedyt toimivat näissä anaerobisissa prosesseissa elektronin luovuttajina. Eri bakteeriryhmät pystyvät hajottamaan hiilivetyjä eri prosesseilla, ja jotkut bakteerilajit pystyvät sekä aerobiseen että anaerobiseen hajottamiseen. Sedimenteissä nämä hajotusprosessit tapahtuvat vyöhykkeissä siten, että sedimentin pinnassa tapahtuu hapellinen hengitys ja hapen

kuluessa mentäessä kohti pelkistyneempiä oloja, käytetään nitraattia, mangaania (VI), rautaa (III)- ja sulfaattia (Froelich ym. 1979). Kun kaikki mainitut elektronien vastaanottajat on kulutettu loppuun, hajotus jatkuu syvemmällä sedimentissä fermentaatiolla ja metanogeneesillä.

Öljyhiilivedyt muuttuvat vesiliukoisemmiksi myös anaerobisen hajoamisen kautta. Ensimmäinen askel monissa hapettomissa hiilivetyjen hajottamisprosesseissa on fumaraatin lisääminen öljyhiilivetyketjuun tai renkaaseen (Widdel ja Rabus 2002). Fumaraatti on orgaaninen dikarboksyylihappo, joka esiintyy bakteerien normaalissa aineenvaihduntaprosessissa välituotteena. Tästä lisäyksestä vastaa bentsyylisukkinnaattisyntaasi-entsyymi. Seuraavaksi molekyyli aktivoidaan koentsyymi a:n (CoA) avulla, ja se hajotetaan asteittain useiden hydraasien, dehydrogenaasien ja hydrolaasien avulla.

Öljylle altistuttuaan bakteerit voivat myös tuottaa ja erittää pinta-aktiivisia aineita (surfaktantteja). Tämä auttaa bakteereja ottamaan hiilivetyjä solujen sisään. Yleisimpiä biosurfaktantteja ovat rhamnolipidit (Bordoloi ja Konwar 2009). Öljyhiilivedyt saadaan näin biologisesti sekä mikrobeille että muille eliöille käyttökelpoisempaan muotoon.

Öljyn sisältämien yhdisteiden mikrobiologista, mutta tehokasta hajotusta voivat rajoittaa ravinteiden puute, kylmä vesi ja kyseisen öljyalaadun sisältämien yhdisteiden hajottamiseen sopeutuneiden mikrobien puute (Lindstrom ym. 1991, Del'Arco ja de França 1999, Kostka ym. 2011). Meriveden mikrobeille käyttökelpoiset ravinteet voivat siis tehostaa öljyn sisältämien yhdisteiden hajotusta. Lisäksi veden pintakerrokseen tuleva UV-valo edistää joidenkin orgaanisten yhdisteiden abioottista hajotusta. Esimerkiksi fossiilisten aromaattisten hiilivetyjen alkyylisubstituentit hajoavat vähitellen valon vaikutuksesta, mikä muuttaa yhdisteiden rakennetta ja niiden liukoisuutta ja muita ominaisuuksia (Ehrhardt ja Burns 1999).

Hiiliyhdisteiden mikrobiologista hajotusta voi hidastaa myös hapettomuus. Hajotusta tapahtuu myös hapettomissa oloissa, mutta hitaammin kuin hapellisissa. Rehevöitymisen myötä laajentuneille hapettomille pohja-alueille sedimentoituneiden öljy-yhdisteiden hajoaminen voikin olla hitaampaa kuin hapellisilla alueilla (esim. Pikkarainen 2008). Voimakkaan tuotannon aikana vesi on usein lämpimämpää, mutta öljyn hiilivety-yhdisteitä hajottavat mikrobit joutuvat kilpailemaan ravinteista levien kanssa.

Erilaisia hiilivetyjä esiintyy merivedessä myös luonnostaan biologisen toiminnan seurauksena, mutta biogeeniset hiilivetyseokset ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia (esim. alifaattisia yhdisteitä, eli 6-40 hiiltä sisältäviä, tyydyttyneitä, suoraketjuisia

hiilivetyjä) (Clark ja Blumer 1967, Youngblood ja Blumer 1973). Sedimentin mikrobiston tärkein tehtävä on kierrättää orgaanista ainesta ja ravinteita biogeokemiallisissa prosesseissa. Tämän seurauksena muodostuu hiilidioksidia (CO_2), joka liukenee bikarbonaatiksi (HCO_3^-), ja vapauttaa samalla liukoisia ravinteita, ammoniumia (NH_4^+), nitraattia (NO_3^-) ja fosfaattia (PO_4^{3-}). Sedimentissä nämä epäorgaaniset ionit voivat saostua, sitoutua sedimenttipartikkeleihin tai levitä vesifaasiin. Jos öljy laskeutuu onnettomuuden jälkeen sedimenttiin, sen mikrobistossa alkaa heti tapahtua muutoksia (Kostka ym. 2011). Yleensä öljynhajottajat runsastuvat, ja mikrobiston kokonaisdiversiteetti voi pienentyä. Jotkut lyhytketjuisista alifaattisista yhdisteistä ja aromaattisista yhdisteistä voivat olla myös toksisia mikrobeille rikkoen niiden kalvot (Sikkema ym. 1995). Koska nämä yhdisteet myös haihtuvat nopeimmin vedenpinnasta, on epätoennäköistä, että niitä ehtii pohjaan suuria määriä. Jos sedimenttibakteerit altistuvat toksisille öljy-yhdisteille, voi orgaanisen aineen hajoaminen väliaikaisesti hidastua. Mutta koska öljy itse toimii myös hiilienlähteenä, sen hajoaminen edistää mikrobi-toimintaa ja öljynhajottajat runsastuvat.

Hydrofobisten yhdisteiden suuri osuus voi hidastaa sedimentoituneen öljyn hajoamista, koska partikkeliaineksen pintaan kiinnittyneet yhdisteet voivat olla vaikeammin saatavilla mikrobiologista hajotusta varten. Toisaalta hienojakoisen mineraaliaineksen on todettu myös stimuloivan bakteerien kasvua ja raakaöljyn hajoamista (Weise ym. 1999). Mineralisaation lisäksi eräät mikrobit pystyvät muuttamaan öljyn heikosti liukenevia yhdisteitä polaarisemmiksi ja paremmin vesiliukoisiksi hajoamistuotteiksi, mikä vaikuttaa niiden sitoutumis- ja kulkeutumisominaisuuksiin meriympäristössä (esim. Bock ym. 1994, Brodkorb ja Legge 1992).

Itämeren vesipatsaan mikrobiyhteisöä on viime aikoina tutkittu perusteellisesti DNA-menetelmien avulla (Herlemann ym. 2011, Koskinen ym. 2011). On selvitetty, että mikrobiyhteisö muuttuu suolapitoisuuden muuttuessa. Mikrobisto on niin monimuotoinen, että on vaikea määrittää, ovatko muutokset mikrobiyhteisössä haitallisia vai hyödyllisiä mikrobiston pääfunktioille. Sedimenttien mikrobiston osalta ei ole toistaiseksi olemassa vastaavaa taustatietoa. Mikrobistossa saattaa esiintyä nopeita muutoksia, ympäristössä tapahtuvien muutoksien seurauksina. Koska taksonominen vaihtelu ei suoraan kuvaa mikrobiston funktionaalista monimuotoisuutta, onkin tiettyssä suhteessa hyödyllisempää tarkastella tiettyjen funktionaalisten ominaisuuksien muutoksia. Nämä voivat olla esim. muutoksia öljynhajottajaentsyymien (esim. geenit *alkB*, *xylE* tai PAH-RDHα; Salminen ym. 2008) tai orgaanisen aineen hajoamisen päämetaboliareittien entsyymejä koodaavissa geeneissä. Öljy-yhdisteiden luontainen biohajoaminen on suotuisa ilmiö. On tärkeää arvioida sedimentoituneen öljyn hajoamisprosessia ja hajoamisnopeutta.



Öljyvana meressä (Kuva: Rajavartiolaitos).

3.8

Öljyn fysiologiset vaikutukset ja vaikuttavat komponentit

Pekka J. Vuorinen, Kari Lehtonen, Heta Rousi, Pirjo Sainio

Öljy-yhdisteet kertyvät eliöihin sedimentistä, vedestä ja kasvillisuudesta sekä ravinnon kautta. Linnut ja merinisäkkäät saavat öljy-yhdisteitä myös puhdistessaan itseään öljystä. Itämeren pohjoisesta sijainnista johtuen vesi on kylmää suuren osan vuodesta. Alhaisissa lämpötiloissa monien eliöiden hiilivetyjen erityiskyky on hitaampaa, koska elimistön prosessit hidastuvat, jolloin hiilivedyt säilyvät elimistössä kauan, joskin lämpötilan vaikutus elimistön prosesseihin on lajikohtaista (Fossato 1975). Kylmässä vedessä palautuminen öljyn haittavaikutuksista on myös usein hitaampaa kuin eteläisillä merialueilla (Fossato 1975). Lisäksi öljy liukenee paremmin vähäsuolaisessa vedessä, joten Itämeren ekosysteemi on tässäkin suhteessa alttiimpi öljyn haitallisille vaikutuksille (Shaw 1977).

Mereen joutuneella öljyllä on eliöihin sekä lyhytaikaisia, eli akuutteja, että pitkäaikaisia, eli kroonisia, vaikutuksia. Akuutit vaikutukset voivat olla jopa tappavia tai esimerkiksi käyttäytymismuutoksia heti öljyvahingon tapahduttua, kun myrkylli-

simmmät yhdisteet eivät ole vielä ehtineet haihtua. Krooniset vaikutukset ilmenevät monenlaisina muutoksina elintoiminnoissa, muun muassa lisääntymisen ja immuunijärjestelmän häiriöinä. Vaikka öljyvahingoilla voi olla merkittäviä vaikutuksia kaloihin ja siten myös kalakantoihin, kenttätutkimuksissa sellaisia ei ole havaittu, mikä johtuu monista tekijöistä (Lindgren ja Lindblom 2004). Kaloilla on esimerkiksi suuri lisääntymispotentiaali, jolloin pienikin kalakanta kykenee nopeasti runsastumaan. Kalojen on myös arvioitu välttävän öljylauttaa hajuaistinsa perusteella. Kuitenkin Exxon Valdez -aluksen öljyvahingon lähes 20 vuotta kestäneen seurannan aikana öljyvahinkoalueen sillikanta ei toipunut ja lohikannat toipuivat vain osittain.

Itämeressä sekä mereiset että makean veden lajit elävät sopeutumisensa äärirajoilla ja ovat siksi herkkiä ympäristömuutoksille. Öljyn populaatiovaikutusten indikaattoreina olisi paras käyttää lajeja, joiden kannoista tai populaatioista on pitkäaikaisseurantoja. Lisäksi indikaattorilajeiksi voisi valita pitkäikäisiä lajeja, jotka kestävät haitallisia ympäristöön kohdistuvia paineita suhteellisen hyvin, ja joissa stressitekijät tämän seurauksena todella ovat näkyvissä, kuten selkärangattomista liejusimpukka.

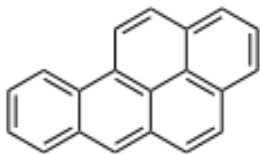
Jotta öljyn vaikutuksia eliöihin voitaisiin mitata, on tärkeää, että määritellään erikseen referenssialue, missä öljyvahinko ei todennäköisesti vaikuta ja varsinaisen vaikutustutkimusalue, tai verrataan ekosysteemin öljypitoisuuksia ja terveyttä öljyvahinkoa ennen ja sen jälkeen. On vaikeaa eritellä eri tekijöiden vaikutuksia eliöihin, ja siksi olisi hyvä, että mukana olisi monia eri stressivasteita ja että luonnossa tapahtuvien seurantojen lisäksi tehtäisiin altistuskokeita öljyn vaikutuksista eliöihin. Pääpaino on syytä olla subletaalien vaikutusten arvioinnissa, sillä öljyä esiintyy ympäristössä pieninä pitoisuuksina. Mittaamalla PAH-yhdisteiden pitoisuuksia eliöissä voitaisiin arvioida ja seurata niiden mahdollisia vaikutuksia eliöiden lisääntymiseen ja muihin elintoimintoihin sekä populaatiomuutoksiin. PAH-yhdisteiden akuutit myrkkyyvaikutukset vesieliöihin ilmenevät pitoisuuksissa 0,2-10 mg/l, ja haitalliset pitkäaikaisvaikutukset alkavat pitoisuuksista 5-100 µg/l (Tuvikene 1995).

3.9

Öljyn sisältämät PAH-yhdisteet, ja vaikutukset ihmisen terveyteen

Ulla Luhtasela, Pekka J. Vuorinen

Raakaöljyissä ja öljyjalosteissa olevat polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) ovat terveydelle haitallisia aineita. PAH-yhdisteet ovat hiiltä ja vetyä sisältäviä orgaanisia yhdisteitä, joissa on kaksi tai useampia bentseenirenkaita liittyneenä yhteen (Kuva 5). Yhdisteistä tunnetuin ja haitallisin on bentso(a)pyreeni, mutta erilaisia PAH-yhdisteitä tunnetaan satoja.



Bentso(a)pyreenin rakenne.

Osa PAH-yhdisteistä on jo hyvin pieninä annoksina syöpävaarallisia (eli karsinogeenisia) ja perimää vaurioittavia (eli genotoksisia). JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) on suositellut 16 PAH-yhdisteen pitoisuuksien tarkkailua elintarvikkeissa mahdollisen syöpäriskin takia (Taulukko 1). Syöpävaarallisuus lisääntyy suhteessa aromaattisten hiilirenkaiden määrään (neljä tai useampia renkaita yhdisteessä). Muita mahdollisia PAH-yhdisteille altistumisen seurauksia ovat lisääntymishäiriöt, epämuodostumat sekä vastustuskyvyn heikkeneminen (SCF 2002).

Taulukko 1. Syöpävaaralliset PAH-yhdisteet

bentso(a) antraseeni	bentso(g,h,i) peryleeni	dibentso(a,e) pyreeni	indeno(1,2,3-cd) pyreeni
bentso(b) fluoranteeni	kryseeni	dibentso(a,h) pyreeni	5-metyylikryseeni
bentso(j) fluoranteeni	syklopenta (c,d) pyreeni	dibentso(a,i) pyreeni	bentso(c) fluoreeni
bentso(k) fluoranteeni	dibents(a,h) antraseeni	dibentso(a,l) pyreeni	bentso(a) pyreeni

Monet öljyperäisistä aineista ovat haitallisia ihmiselle suorassa kosketuksessa, mutta useat niistä ovat vaarallisia erityisesti joutuessaan ruoka-aineisiin (esim. kaloihin ja simpukoihin) ja sitä kautta ihmisen ruuansulatuselimistöön. Öljyn sisältämistä haitallisista aineista PAH-yhdisteet ovat tärkein yhdisteryhmä, joka voi elintarvikkeiden välityksellä aiheuttaa terveysvaaran kuluttajille (Binderup ym. 2004). Öljyvahingon jälkeen Evira arvioi elintarvikkeena käytettävien kalojen turvallisuuden ja antaa tarvittaessa syöntisuosituksia.

Vaikutustutkimuksiin sopivat eliöt, ja niiden levinneisyys

Öljyvahingon vaikutukset meriluontoon

Riikka Venesjärvi

Öljyvahingon vaikutukset meriluontoon ovat riippuvaisia useista eri tekijöistä: öljytyypistä, vuodon suuruudesta ja sen maantieteellisestä sijainnista, päästön aikaisista sääoloista sekä vuodenajasta. Seuraukset vaihtelevat myös rannan tyyppien mukaan; avoimilla ulkosaariston rannoilla on suurempi altistumistodennäköisyys kuin suojaisilla jokisuilla. Tosin saariston avoimuus auttaa myös öljyn luonnollista puhdistumista. Eliölajien populaatiorakenne voi vaihdella vuodenajan mukaan, ja lisääntymisaikana myös jälkeläiset ovat vaarassa.

Öljy voi vahingoittaa eliölajeja monin tavoin. Eliöt voivat altistua öljyn myrkyllisille ainesosille hengitetyn ilman tai ravinnon ja myös itsensä sukimisen kautta, ja ne voivat tahriintua veden pinnalla tai pesimäpaikalla olevasta öljystä. Altistumistavan lisäksi muutkin tekijät aiheuttavat vaihtelua öljyn haitallisten vaikutusten välillä, esimerkiksi varhaisemmat kehitysvaiheet ovat öljylle aikuisia herkempiä (Lecklin ym. 2011).

Öljyn vaikutukset rannikon kasveihin vaihtelevat lyhyistä fotosynteesin häiriöistä yksilön kuolemaan. Tahriva öljy tukkii kasvien ilmaraot ja häiritsee veden imeytymistä juurista (Pezeshki ym. 2000). Rantaveteen huuhtoutunut öljy voi irrottaa vesikasveja alustastaan, öljyn tarttuessa varteen ja lehtiin kiinni ja aallokon repiessä ne pohjasta irti. Pohjaeläimistä esimerkiksi simpukat kykenevät välttämään tahriintumisen sulkemalla kuorensa ja eristäytymällä ympäristöstä (Moles 1998, Robertson 1998). Kun lievästi saastuneet alueet puhdistetaan lyhyen ajan sisällä, simpukkaesiintymät voivat palautua, sillä simpukoiden läpi virtaava puhdas vesi voi poistaa haitalliset aineet. Vaikka öljyvahingon jälkeistä akuuttia kuolleisuutta kaloissa ei ole havaittu yhtä usein kuin muissa eliöryhmissä, ne kärsivät silti öljyn aiheuttamista vaikutuksista. Altistuminen pienillekin öljypitoisuuksille aiheuttaa muun muassa muutoksia aineenvaihdunnassa (Incardona ym. 2009). Avomerellä kalat kykenevät usein välttämään öljyn paremmin kuin rantavedessä, jossa öljy leviää rantaa kohti. Rannassa on myös matalampaa ja veden ja öljypitoisuus suurempi (Fingas 2001). Kalojen kutualueet sijaitsevat myös usein rantavedessä, jossa mätimunat altistuvat helposti.

Veden pinnalla ja rantavyöhykkeessä oleilevat linnut altistuvat helposti öljylle tahriintumisen ja öljyn nielemisen kautta. Tahriintuminen alentaa niiden höyhenpeitteen eristyskykyä ja kelluvuutta, jolloin lintu voi hukkua tai kuolla hypotermiaan

(Kennish 1997). Linnuilla altistumisajankohta on vuoden suuruutta merkittävämpi tekijä haitallisia vaikutuksia tarkastellessa. Myös onnettomuuden sijainti vaikuttaa lintujen altistumiseen; Itämerellä lintujen talvehtimisalueet ovat hyvin rajalliset ja tällaisen alueen läheisyydessä tapahtunut öljyvahinko voi aiheuttaa suuren tappion. Pesimäaikoina munien ja poikasten tahriintuminen voi tuhota koko kauden tuoton. Muuton aikaan linnut ovat myös erityisen alttiita öljylle laskeutuessaan levähtämään veden pinnalle (Scholz ym. 1992). Asiantuntija-arvioiden mukaan lentävät linnut voivat nähdä öljyläikän tasaisena ja hokuttelevana väreilevään vedenpintaan nähden. Lintujen käyttäytyminen vaikuttaa niiden altistumiseen ja tämä aiheuttaa eroja lajien herkkyyden välillä. Vedessä paljon oleilevat lajit kuten ruokit ja sorsat altistuvat helposti pinnalla leviävälle öljylle (Esler ym. 2002). Suomenlahden eliöryhmistä nämä linnut ovatkin herkimpiä öljyn haitallisille vaikutuksille (Lecklin ym. 2011). Lokke- ja puolestaan veden pinnalla oleva öljy estää saalistamasta ja petolinnut altistuvat helposti öljylle tahriintuneen saaliin kautta (Wiese ja Ryan 2003). Itämerellä pesiviin lintuihin vaikuttaa myös luotojen saastuminen, jolloin linnut joutuvat etsimään uusia pesimäpaikkoja, minkä takia pesintä voi vaarantua. Merinisäkkäät kuten hylkeet voivat väistää leviävää öljyä, ja näin välttää altistumisen. Tosin tahriintumista voi tapahtua avomerelläkin, mutta siitä ei ole havaintoja.

Populaatioiden palautuminen öljyvahingon jälkeen riippuu etenkin lajikohtaisesta lisääntymiskyvystä ja muutosta öljyyntyneen alueen ulkopuolelta. Öljyn aiheuttamalla akuutilla kuolleisuudella tai yhden vuoden poikastuotannon menetyksellä ei ole usein suurta vaikutusta lajin katoamiseen, jos sen palautumiskyky on riittävä (Albers 2003). Tästä syystä onkin erittäin tärkeää tunnistaa öljylle herkät lajit etukäteen, jotta niiden suojaaminen voidaan huomioida torjuntatyössä ja lisäksi tarkkailla niissä tapahtuvia muutoksia.

Lyhytikäiset lajit kärsivät eniten epäonnistuneista lisääntymiskausista. Yksivuotisten kasvien vuosiluokan häviäminen tietyltä alueelta voi tuhota koko populaation, jos lajilla ei ole siemenpankkia. Tällöin esiintymän palautuminen riippuu muualta leviävistä siemenistä. Monivuotinen kasvi voi palautua juuristonsa avulla, ellei maaperän öljyyntyminen ole vahingoittanut sitä. Esimerkiksi selkärangattomat eläimet ja kalat tuottavat suuria poikasmääriä kerralla, ja koko lisääntymisalueen tulisi saastua, jotta populaatio kärsisi uuden poikastuotannon häviämisestä tiettyinä vuosina. Tosin aikuiset yksilöt kärsivät helposti öljyn kroonisista vaikutuksista hankkiessaan ravintoa, ja tämä voi muun muassa heikentää kalojen lisääntymiskykyä (Lecklin ym. 2011). Vesilinnuilla taas aikuiskuolleisuus voi olla hyvin haitallista. Tietyillä lajeilla kuten etelänkiisllalla (*Uria aalge*) pitkä elinikä, myöhäinen sukukypsyys ja alhainen vuosittainen poikastuotto vaikuttavat siihen, että populaatio kärsii enemmän kokeneiden pesijöiden kuolleisuudesta kuin yhden vuoden poikasten menetyksestä (Österblom ym. 2004). Hyvän leviämiskyvyn omaavat lajit kykenevät hyvin siirtymään ja leviämään puhtaille elinalueille öljyvahingon jälkeen. Hyljepopulaatiot, joilla on heikko lisääntymiskyky, ovat riippuvaisempia muuttoliikkeen onnistumisesta kuin säilyvistä poikasista (Sjöberg ja Ball 2000).

Öljyvahingosta palautuminen on yleisten lajien kohdalla melko varmaa, mutta uhanalaisia lajeja tulee tarkastella erikseen, sillä monet Suomessa esiintyvistä uhanalaisista tai harvinaisista lajeista ovat riippuvaisia rannikon öljylle herkistä elinympäristöistä. Ja vaikka merkittävä osa uhanalaisista lajeista on suurelle yleisölle tuntemattomia hyönteis- ja kasvilajeja, näiden huomioiminen öljyntorjunnassa on tärkeää, sillä niiden palautuminen on hyvin epävarmaa.

Itämeren rantojen erilaiset luontotyytit voivat myös altistua öljylle, ja niiden herkkyys voidaan nähdä suhteessa palautumiskykyyn. Uhanalaisten luontotyyppien palautuminen on heikkoa, joten ne ovat arkoja öljyn haitallisille vaikutuksille. Herkkyyteen vaikuttaa myös puhdistettavuus: öljyn hidas ja vaikea poistaminen esimerkiksi merenrantaniityiltä tekee luontotyyppistä herkän. Vastaavasti saariston ulkoluotojen kalliorannat puhdistuvat usein aallokon vaikutuksesta ilman ihmistoimintaa, joten niiden palautumisen voidaan todeta olevan hyvä.

3.10.2

Indikaattorieliöiden valinta

Heta Rousi, Riikka Venesjärvi

Eläinten käyttäytyminen vaikuttaa huomattavasti siihen, miten alttiita ne ovat öljylle ja siihen, kuinka hyvin ne sopivat käytettäväksi öljytutkimuksissa. Öljyindikaattorilajien tulee olla yleisiä ja esiintyä riittävän runsaina Suomen vesialueilla. Seuranta-aineiston olemassaolo on myös vertailun kannalta eduksi. Toisaalta myös uhanalaisten lajien, joiden esiintymispaikat ovat tunnettuja, käyttö indikaattoreina on tärkeää, jos öljy saastuttaa niiden esiintymisalueen.

Öljytyypillä on vaikutusta eliöiden altistumiseen. Kevyiden öljyjen yhdisteet ovat yleensä akuutisti myrkyllisempiä eliöille kuin raskaiden öljyjen, ja ne liukenevat veteen helpommin (Hayes ym. 1992, Albers 2003). Toisaalta ne myös haihtuvat nopeasti vedestä, ja eliöiden altistuminen kevyen öljyn yhdisteille onkin epätodennäköisempää (Mackay 1985). Raskaan öljyn yhdisteet taas usein tukehduttavat eliöt ja säilyvät ekosysteemeissä kevyitä öljyfraktioita kauemmin (Albers 2003). Taulukossa 2 on kuvattu eri öljytyyppien vaikutuksia meriympäristöön.

Taulukko 2. Erilaisten öljylaatujen vaikutukset meriympäristöön (Helle 2009, muokattu)

Hyvin kevyet öljyt (kerosiini, bensiini) Paljon myrkyllisiä yhdisteitä Vakavia paikallisia vaikutuksia vesipatsaan ja rantavyöhykkeen eliöille	Keskiraskaat öljyt (raakaöljyt) Rannan tahrينتuminen laajaa ja pitkäaikaista Linnut ja nisäkkäät vaarassa
Kevyet öljyt (diesel, kevyet raakaöljyt) Jonkin verran myrkyllisiä yhdisteitä Voivat tahria rantavyöhykettä	Raskaat öljyt (raskaat raakaöljyt, laivan polttoöljy) Tahrivat rantavyöhykettä pahasti Linnuille ja nisäkkäille suuria vahinkoja Voivat saastuttaa sedimenttejä

Eliöiden öljyaltistus riippuu myös vuodenajasta. Pohjoisilla leveysasteilla kevät, jolloin useat lajit lisääntyvät, on pahinta aikaa öljyvaikutusten kannalta (Rydén ym. 2003). Lisäksi öljyvahingon sijainti vaikuttaa luonnollisesti siihen, mitkä eliöt altistuvat öljylle ja kuinka vakavia vaikutuksia öljyllä on. Rannan eliöyhteisöt ovat monimuotoisimpia, kun taas pohjoisella Itämerellä etenkin avomeren pohjaekosysteemit ovat usein lajiköyhä.

Itämeren eliöryhmät voidaan luokitella Lecklinin ym. (2011) mukaan seuraavasti niihin kohdistuvien haitallisten pitkäaikaisten öljyvaikutusten suhteen: petolinnut < simpukat < monivuotiset kasvit, kotilot, pelagiset kalat, kahlaajat < vedenalaiset kasvit, siirat < viherlevät, ruskolevät, ilmaversoiset, yksivuotiset joilla ei ole siemenpankkia, katkat, lokit < sorsat < ruokkilinnut. Tämä öljyaltistusluokitus ei ole kuitenkaan suoraan verrattavissa siihen, mitä eliöitä olisi suositeltavinta käyttää öljyn indikaattorilajeina, sillä vaikka eliö ei olisi öljylle herkkä, saattaa se silti kerätä kudoksiinsa huomattavat määrät hiilivety-yhdisteitä ja olla siten hyvä indikaattori ekosysteemin öljyaltistuksesta.

3.10.3

Vesikasvit ja levät

Heta Rousi

Kasvien lajimäärä yleensä vähenee intensiivisen öljyaltistuksen seurauksena. Pienissä öljyaltistuksissa öljyn vaikutukset ranta- ja vesikasvillisuuteen jäävät kuitenkin usein vähäisiksi. M/T Palvan karilleajon yhteydessä Kökarin saaristossa 1969 havaittiin öljyvahingon yhteydessä, että kasveja ei yleensä ollut öljyläikkien päällä, mutta niitä kasvoi öljyläikkien vieressä. Eräiden vesi- /tai rantakasvien vakavat öljyvaikutukset saattavat viivästyä ja näkyä vasta vuosi tai kaksi öljyaltistuksen jälkeen, minkä vuoksi öljyn vaikutusten esiin tuleminen vaatii seurantaa (Committee on Oil in the Sea 1985). Monivuotiset kasvit toipuvat yleisesti öljyn vaikutuksista nopeammin kuin yksivuotiset kasvit, johtuen muun muassa niiden sedimentissä olevista siemenpankeista (Burk 1977, Pezeshki ym. 2000).

Meriajokas (*Zostera marina*) on varteenotettava laji öljyindikaattorina, jos öljyaltistus koskee sen elinympäristöä. Öljyn vaikutukset meriajokkaaseen vaihtelevat pienistä vaikutuksista vakaviin ja riippuvat muun muassa syvyydestä, öljytyypistä sekä paikallisista olosuhteista (Committee on Oil in the Sea 1985).

Laboratoriokokeet ja kenttähavainnot viittaavat siihen, että rakkolevä (*Fucus vesiculosus*) kestää melko hyvin keskinkertaista ja lyhyttä öljyaltistusta. Tämä voi johtua siitä, että öljy ei tartu kasvin soluseinämään tai siitä, että rakkolevä ei juurru sedimenttiin (johon suuri osa öljystä voi päätyä), vaan sedimenttien yläpuolella olevaan kiviainekseen (Ganning ja Billing 1974, Percy 1982). Täten rakkolevä ei sovellu hyvin öljyindikaattoriksi. Myös muut levät ovat havaintojen perusteella melko kestäviä öljylle juuri samoista syistä kuin rakkolevä.

Tietyt leväsuvut, kuten *Enteromorpha*, *Ulva* ja *Porphyra* alkavat usein dominoida öljyaltistuksen jälkeen, mutta tämä on todennäköisesti seurausta vähentyneestä laidunnuksesta, kun leviä laiduntavat selkärangattomat eläimet vähenevät. Ilmiötä voisi kuitenkin käyttää indikaattorina öljyn vaikutuksista öljyvahinkoalueella.

Veden rajassa kasvavan *Verrucaria maura* -merijäkälän on havaittu eliminoituneen öljyaltistuskohdista ja siksi kyseisen lajin esiintymistä/kuolleisuutta voisi käyttää öljyindikaattorina kovien pohjien rannikkoekosysteemeissä (Ravanko 1971).



Öljyä rantakasvillisuuden seassa (Kuva: Jouko Pirttijärvi/SYKE).

3.10.4

Kasviplankton

Heta Rousi

Kasviplanktonin määrän on havaittu lisääntyvän vesipatsaaseen päässeeseen öljyn vaikutuksesta, minkä on arveltu muun muassa johtuvan vähentyneestä eläinplanktonin laidunnuksesta (Johansson ym. 1980). Pienen öljypitoisuuden on todettu edistävän perustuotantoa, mutta mikrolevien perustuotanto heikkenee ja kuolevuus kasvaa

veden öljypitoisuuden ollessa suuri ja öljyn sisältäessä runsaasti keveitä fraktioita (Lappalainen & Kangas 1980, Saha ja Konar 1985). Vesipatsaassa oleva öljy voi estää fotosynteesiä ja lajikoostumuksessa voi tapahtua öljy-yhdisteiden vaikutuksen seurauksena muutoksia (Miller ym. 1978). Öljy-yhdisteet voivat vaikuttaa kasviplanktoniin haitallisesti esimerkiksi seuraavien mekanismien kautta: a) liukoisen aromaattisen fraktion välitön myrkyllisyys, b) pidempiaikainen pysyvien yhdisteiden aiheuttama myrkytys ja c) muuntuneet fysikaalis-kemialliset olot öljylautan alla (muun muassa lämpötilamuutokset) (Miller ym. 1978). Kasviplankton muodostaa meren biologisen yhteisön perustan, joten muutokset sen määrissä tai lajisuhteissa heijastuvat läpi ravintoverkon.

3.10.5

Eläinplankton

Heta Rousi

Eläinplankton on altis vesipatsaassa olevan öljyn vaikutuksille ja Itämerellä tapahtuneen öljyvahingon yhteydessä on havaittu, että eläinplankton vähenee huomattavasti öljyaltistuksen seurauksena. Tosin vaikutukset eläinplanktoniin eivät näytä kestävän kuin muutaman päivän (Johansson ym. 1980). Muun muassa *Acartia* ja *Oithona* -hankajalkaisten on havaittu soveltuvan indikaattorilajeiksi öljytutkimuksiin (Lindén ym. 1979, Bellas ja Thor 2007). Myös *Eurytemora affinis* -hankajalkaisen on todettu olevan herkkä etenkin naftaleenille (Ott ym. 1978).

Acartia ja *Oithona* -hankajalkaissuvut ovat laajalle levinneitä ja *Acartia biflosa* ja *Eurytemora affinis* kuuluvat tärkeimpiin Suomenlahden hankajalkaisiin (Viitasalo 1992, Gallienne ja Robins 2001, Bellas ja Thor 2007). Myrkyillä, kuten raakaöljyn hiilivedyillä ja sedimentoituneilla PAH-yhdisteillä on todettu olevan subletaaleja, lisääntymiskykyä alentavia, vaikutuksia hankajalkaisiin pienempinä pitoisuuksina (Berdugo ym. 1977, Lotufo 1997). Tämän vuoksi hankajalkaisten lisääntymismenestystä voisi käyttää öljy-yhdisteiden vaikutusten indikaattorina (Poulet ym. 1995, Bellas ja Thor 2007).

3.10.6

Kalat

Pekka J. Vuorinen

Kalalajeiksi öljyvaikutustutkimuksiin soveltuvat yleiset ja helposti saatavat lajit, joilla on taloudellista merkitystä. Lisäksi käytettävien kalalajien kantojen runsaudesta ja rakenteesta tulisi olla ennestään tutkimustietoa.

Silakka (*Clupea harengus membras*) ja ahven (*Perca fluviatilis*) ovat sopivia lajeja, koska molempia on käytetty Itämeren biomarkeritutkimuksissa ja molemmat täyttävät

edellä luetellut kriteerit. Kampela (*Platichthys flesus*) on myös sopiva indikaattorilaji, koska sitäkin on käytetty Itämeren biomarkeritutkimuksissa ja sillä on tehty paljon erilaisia vaikutustutkimuksia. Itämeren kampelakannat ovat toisaalta kovasti taantuneet ja niitä on nykyisin hyvin vaikea saada näytteeksi. Muita mahdollisesti käytökelpoisia kalalajeja ovat kuha (*Sander lucioperca*), siika (*Coregonus lavaretus*), lahna (*Abramis brama*), kilohaili (*Sprattus sprattus*) ja kivinilkkä (*Zoarces viviparus*). Kaikkia näitä lajeja, paitsi kivinilkkää, kalastetaan. Tosin lahnaa kalastetaan vähemmän. Mainituista lajeista, paitsi kivinilkasta, löytyy myös kantaseurantatietoa.

Kalanäytteiden kerääminen voi olla hankalaa ja vaatia erikseen järjestettyä pyyntiä, koska kalastus todennäköisesti loppuu tai jopa kielletään öljyn saastuttamilla alueilla.

3.10.7

Pohjaeläimet

Heta Rousi, Kari Lehtonen

Pohjaeläimet altistuvat meressä tapahtuneen öljyvahingon vaikutuksille hyvin vaihtelevasti riippuen paljolti niiden käyttäytymisestä ja aineenvaihdunnan ominaisuuksista. Todennäköisesti olisi viisasta käyttää öljyn vaikutusten indikaattoreina pitkäikäisiä lajeja, jotka eivät ole akuutisti herkkiä ympäristön muutoksille ja joissa stressitekijät tämän seurauksena todella ovat näkyvissä. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi liejusimpukka ja sinisimpukka (*Mytilus trossulus*) sekä kilkki (*Saduria entomon*) (e.g. Rumohr ym. 1996).

Useimmat äyriäiset, kuten valkokatka (*Monoporeia affinis*), ovat hyvin herkkiä öljyn vaikutuksille, koska hiilivety-yhdisteet kertyvät niihin tehokkaasti (Sanders ym. 1972, Jacobs 1980, Wake 2005, Lecklin ym. 2011). Tuoreella öljyllä onkin usein välitön, letaali vaikutus valkokatkaan (Björkas 1980). Äyriäiset ovat kuitenkin hyvin liikkuvia ja valkokatkojenkin tiedetään välttelevän öljyllä saastuneita sedimenttejä. Liikkuvuutensa vuoksi ne saattavat kuitenkin juuttua öljyyn (Percy 1977, Wells ja Percy 1985). Kilkki, kuten siirat yleensä, sietää sen sijaan hyvin öljysaastumista, ja voi siten soveltua hyvin öljyn indikaattorilajiksi (Percy 1977, Lindén ym. 1979). Kilkin laaja liikkuvuus saattaa aiheuttaa sen, että se kerää itseensä paljon öljyä, mutta ei kuitenkaan välttämättä kuvaa juuri tutkimusalueen öljysaastuneisuutta (Lindén 1979).

Simpukoiden, kuten liejusimpukan ja sinisimpukan aineenvaihdunta hajottaa huonosti PAH-yhdisteitä. Lajit kykenevät myös varastoimaan alkuperäisiä PAH-yhdisteitä kudoksiinsa, jolloin hajoamisprosessissa syntyvien välituotteiden (kuten happiradikaalien) määrä jää vähäisemmäksi. Tämän vuoksi simpukat ovat hyviä öljyn indikaattoreita (Lee ym. 1972). Yleisesti simpukat altistuvat pahimmin juuri kroonisille öljyn vaikutuksille, koska ne pakenevat stressiä, kuten öljysaastetta kai-vautumalla ja sulkeutumalla kuoreensa (Moles 1998).

Monisukasmadot sen sijaan kykenevät hajottamaan öljyhiilivetyjä tehokkaasti (Van Bernem 1982). Pitkäikäiset öljyn vaikutukset selkärangattomiin ovat yleensä

harvinaisia, ja koskevat laajaa öljyvahinkoa, koska selkärangattomilla eläimillä on yleensä planktiset toukat, jotka kolonisoivat alueen uudelleen, kun se on puhdistunut öljysaasteesta (Jacobs 1980, Hawkins ym. 2002). Eräiltä katkoilta (kuten valkokatka) ja kotiloilta puuttuu kuitenkin planktinen vaihe (Gomez Gesteira ja Dauvin 2000).



Kilikki (*Saduria entomon*) (Kuva: Heta Rousi/SYKE).

3.10.8

Hylkeet

Heta Rousi

Ainakin norpat eli kiehkuraishylkeet sietävät eräiden tutkimusten mukaan hyvin öljyä, koska niitä suojaa paksu ihonalainen rasvakerros (Geraci ja Smith 1976, Engelhardt ym. 1977). Vastasyntyneet kuutit ovat todennäköisesti suurimmassa vaarassa altistua öljyn haitallisille vaikutuksille, jos öljyä joutuu hylkeiden pesimis- ja poikimisympäristöön (Stenman 1980). Toisaalta tieto hylkeiden öljyaltistuksesta on epävarmalla pohjalla. Prinssi Williamin salmessa Exxon Valdezin öljyonnettomuuden seurauksena saastuneen alueen Tyynenmeren kirjohyljepopulaatio pieneni 43

% verrattuna saastumattomien alueiden 11 % kuolleisuuteen (Frost ym. 1994). Täten Itämerellä tapahtuvan merkittävän öljyvahingon seurauksena voi olla hyljepopulaation pieneneminen, mikäli öljy saastuttaisi hylkeiden elinympäristöä.

3.10.9

Linnut

Martti Hario, Heta Rousi

Suomessa lintujen kroonista öljyyntymistä ei ole seurattu samaan tapaan kiinteästi kuin Itämeren etelä- ja lounaisosien alavilla rannikoilla, joiden pitkille hiekkarannoille kuolevat tai sinne kuolleina ajautuneet linnut rekisteröidään säännöllisissä seurannoissa (beached bird survey). Vuosikymmeniä jatkunut menetelmä on paljastanut jatkuvaa lintujen öljyyntymistä erityisesti Itämeren laivaliikenteen pääväylien varrella; lukumäärät ovat kymmenissä tuhansissa. Yksi tärkeimmistä ja eniten liikennöidyistä väylistä kulkee keskellä Itämerta lähtien Suomenlahden perukasta. Laittomia päästöjä rekisteröidään Suomenkin aluevesillä vuosittain kymmeniä, ja on varsin todennäköistä, että aluevesiemme tuntumassa lintuja öljyyntyy joka vuosi suurin määrin. Kallioinen ja jyrkkärantainen rannikkomme ei kuitenkaan ”kerää” rantaan ajautuvia öljyn uhreja samalla tavoin kuin alavat kasvittomat hiekkarannat muualla Itämeren piirissä. Suurin osa meillä öljyyntyneistä linnuista ilmeisesti kuolee ulapalle ja uppoo.

Sama monitoroinnin vaikeus tulee korostumaan mahdollisen isomman öljyturman yhteydessä. Uhrien lukumäärästä on vaikea päästä perille ilman suurisuuntaista vene- ja lentohavainnointia. RKTL:lla on laaja saaristolintuseuranta-aineisto pitkät aikasarjat, jotka auttavat populaatiovaikutusten selvittämisessä. RKTL:n organisoimaa seurantaa tehdään vapaaehtoisvoimin 45 saaristoalueella Perämereltä itärajalle. Seurannan tavoitteena on selvittää pesä- ja aikuislaskennoin 32 saaristolintulajimme vuosittaiset kannan koot ja kehityssuunnat. Monilta kohteilta kattavaa aikasarjaa on vuodesta 1986 lähtien. RKTL:n tausta-aineistot ovat olleet keskeinen työkalu Suomenlahden aikaisemmissa lintukuolemissa vuosina 1992, 2000, 2006 ja 2010 sekä molemmissa Antonio Gramscin öljyturmissa vuosina 1979 ja 1987.

Öljyn linnustovaikutuksien kannalta öljyn määrää ratkaisevampaa on se, millä alueella ja mihin vuodenaikaan öljyvahinko tapahtuu. Jos öljyä vuotaa pohjoisen Itämeren ekosysteemiin lintujen pesimäaikana, voivat vaikutukset merilintujen kannalta olla kohtalokkaita. Erityisen suuret tuhot vesilinnustossa voi aiheutua myös, jos öljyä vuotaa meriekosysteemiin lintujen talvehtimisalueella, sillä kylmässä vedessä selviytymismahdollisuudet puhdistuksen jälkeenkin ovat häviävän pienet. Linnuista öljytutkimuksiin soveltuvat parhaiten indikaattoreiksi lajit, jotka elävät suurimman osan ajastaan vedessä ja altistuvat siten herkästi pintaveden öljylle. Tällaisia ovat erityisesti ruokit, riskilät, haahkat, allit, merimetsot ja sorsat (Häkkinen 1980, Esler ym. 2002, Lecklin ym. 2011).



Pahoin öljyyntynyttä lintua puhdistetaan öljystä (Kuva: Jouko Pirttijärvi/SYKE).

3.10.10

Lajien levinneisyysmallinnus

FINMARINET

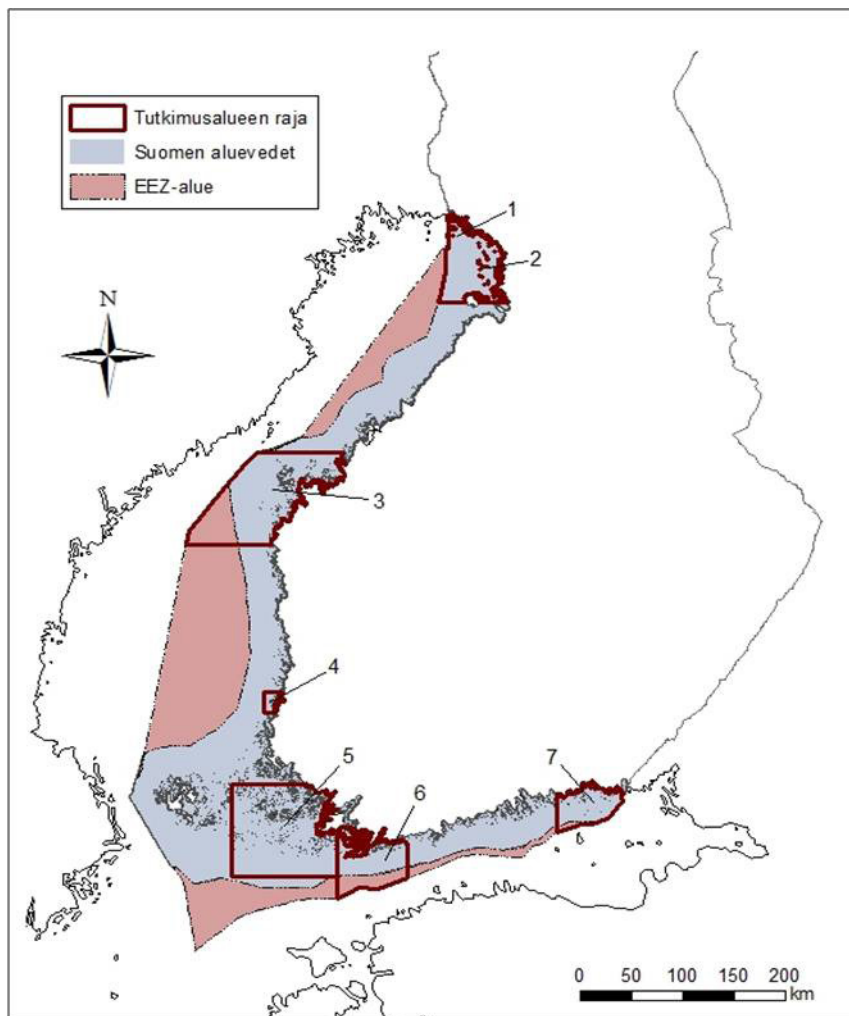
Heta Rousi, Minna Ronkainen

Suomessa FINMARINET-ohjelma kartoittaa merialueemme habitaatteja ja tuottaa karttoja eräiden avainlajiemme ja habitaattiemme levinneisyydestä. Ensimmäiset mallit tulevat julki vuonna 2013. Kartat ovat julkitultuaan saatavilla VELMU (Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelma) sivulle tulevassa karttapalvelussa (<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=401354&lan=FI>). Tämä mallinnustieto voi tulevaisuudessa sisältyä myös ympäristöhallinnon BORIS2-tilannekuvajärjestelmään (katso kappale 4.2).

Levinneisyysmalleja tuotetaan kuudelle tutkimusalueelle, joiden sisällä on seitsemän suojelualuetta (Kuva 2). Tutkimusalueet sijaitsevat Perämerellä (23026 ha), Merenkurkun saaristossa (128 162 ha), Rauman saaristossa (5350 ha), Tammisaaressa (52630 ha), Saaristomerellä (49735 ha) ja Itäisellä Suomenlahdella (95 628 ha). Mallit perustuvat ympäristömuuttujille, jotka parhaiten kuvaavat lajien optimaalisia esiin-

tymisalueita (syvyys, avoimuus, suolaisuus, lämpötila, pH, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, näkösyvyys ja liuennut happi).

Tähän mennessä mallinnettuihin taksoneihin kuuluvat näkinpartaislevät (*Chara* sp), mukulanäkinparta (*Chara aspera*), ärviät (*Myriophyllum* sp), merivita (*Potamogeton filiformis*), hapsivita (*Potamogeton pectinatus*), ahvenvita (*Potamogeton perfoliatus*), merinäkinruoho (*Najas marina*), hapsikat (*Ruppia* sp), merisätkin (*Ranunculus baudotii*), merisykeröparta (*Tolypella nidifica*), meriajokas (*Zostera marina*), näkinsammalet (*Fontinalis* sp), murtovesisieni (*Ephydatia fluviatilis*), kaspianpolyyppi (*Cordylophora caspia*), rakkolevät (*Fucus* sp), haarukkalevä (*Furcellaria lumbricalis*), pallopartalevä



Kuva 2. FINMARINET-ohjelman kuusi tutkimusaluetta, joilla tekstissä mainittujen lajien levinneisyyksiä on kartoitettu ja mallinnettu (Kuva: Minna Ronkainen / SYKE).

(*Cladophora aegagrophila*), meriahdinparta (*Cladophora rupestris*), sinisimpukka (*Mytilus trossulus*), ruskokivitupsu (*Sphacelaria arctica*) ja laikkupunalevä (*Hildenbrandia rubra*).

Tulevaisuudessa mallinnetaan myös muita lajeja, joille saadaan riittävä näytekattavuus ja myös yhteisöjä, mikäli niille saadaan tuotettua luotettavia levinneisyysmalleja. Näistä levinneisyysmalleista on todennäköisesti hyötyä öljyn vaikutuksien arvioinnin yhteydessä. Karttojen avulla on mahdollista nähdä heti öljyvahingon tapahduttua, minkälaisia habitaatteja mereen päätnyt öljy erityisesti uhkaa.

OILRISK

Riikka Venesjärvi

OILRISK-hanke arvioi mahdollisen öljyvahingon riskiä luontoarvoille, erityisesti uhanalaisille lajeille ja luontotyypeille. Tietoa tuotetaan mm. siitä mitkä Suomenlahden ja Saaristomeren eläin- ja kasvilajit ovat suurimmassa vaarassa kärsiä öljyvahingon akuuteista ja pitkäaikaisista vaikutuksista, ja missä nämä lajit elävät. Ajantasaisella lajitietokannalla tehostetaan torjuntasuunnitelmien tekoa öljyvahingon sattuessa.

Tietokanta sisältää uhanalaisten rannikkoalueella elävien lajien sekä maanpäällisten ja vedenalaisten luontotyyppien sijainnin, suojeluarvon, palautumiskyvyn, altistumistodennäköisyyden ja puhdistettavuuden. Näiden tietojen perusteella arvotetaan erilaisia luontokohteita keskenään, jotta rajalliset resurssit voidaan kohdistaa öljyvahinkotilanteessa oikein.

Kerättyyn tietoon perustuu karttatyökalu, jonka avulla yhdistetään tieto öljyn kulkeutumisesta ja herkistä luontoarvoista. Kyseinen työkalu valmistuu vuonna 2012 ja se liitetään ympäristöhallinnon BORIS2-järjestelmään. Edellä mainittujen merialueiden lisäksi tietokantaan voidaan lisätä loputkin Suomen merialueista ja sisävesistä.

3.11

Kemiallisten analyysien antama tieto

Kari Lehtonen, Harri Kankaanpää, Pekka J. Vuorinen, Pirjo Sainio, Kaarina Lukkari

Öljyvahingon yhteydessä vesifaasissa olevan öljyn määrästä voidaan karkeasti arvioida akuutit altistuspitoisuudet kohdealueen eri osissa, ja mitkä öljyn komponenteista ovat vallitsevia. Tietoa voidaan käyttää öljyvahingon jälkeisessä riskianalyysissä ja vaikutusennusteessa. Sedimentissä olevat pitoisuudet ennustavat pitkäaikaisvaikutuksien laajuutta. Eliöistä mitatut pitoisuudet ilmaisevat kokonaisaltistumista parhaiten eliöissä, joissa yhdisteiden hajotus on hidasta. Näiden eliöiden kudoksista todettujen pitoisuuksien kytkeminen esimerkiksi samaan aikaan mitattuihin molekyyliarisiin ja fysiologisiin vaikutuksiin heijastaa parhaiten koko paikallisen eliöyhteisön saamaa altistusta ja sen biologista vaikutusta. Kokonaisöljypitoisuuden mittaamisessa käytettävä analyysimenetelmä on käyttökelpoinen ainoastaan vesinäytteille.

PAH-yhdisteiden ja alifaattisten hiilivetyjen (orgaaninen yhdiste, joka ei ole aromaattinen eli ei sisällä bentseenirengasta, tai muuta vastaavaa rakenneosasta) pi-

toisuuksien määrittäminen on olennainen toimenpide selvitetessä öljy-yhdisteiden kertymistä kohde-eliöihin. Näiden komponenttien pitoisuuksien perusteella voidaan arvioida ajan kuluessa muuttuvaa kemiallista kuormaa eliöissä. Ajan kuluessa toksikologisia seurauksia voidaan arvioida eliöihin sisäisesti vaikuttavien yhdisteiden pitoisuusjakauman perusteella. Alifaattisten hiilivetyjen pitoisuudet kertovat lähinnä öljylle altistumisesta yleisesti. Molekyläariset ja fysiologiset vaikutukset selittyvät helpommin havaittavien PAH-yhdisteiden profiloinnilla.

OSA B

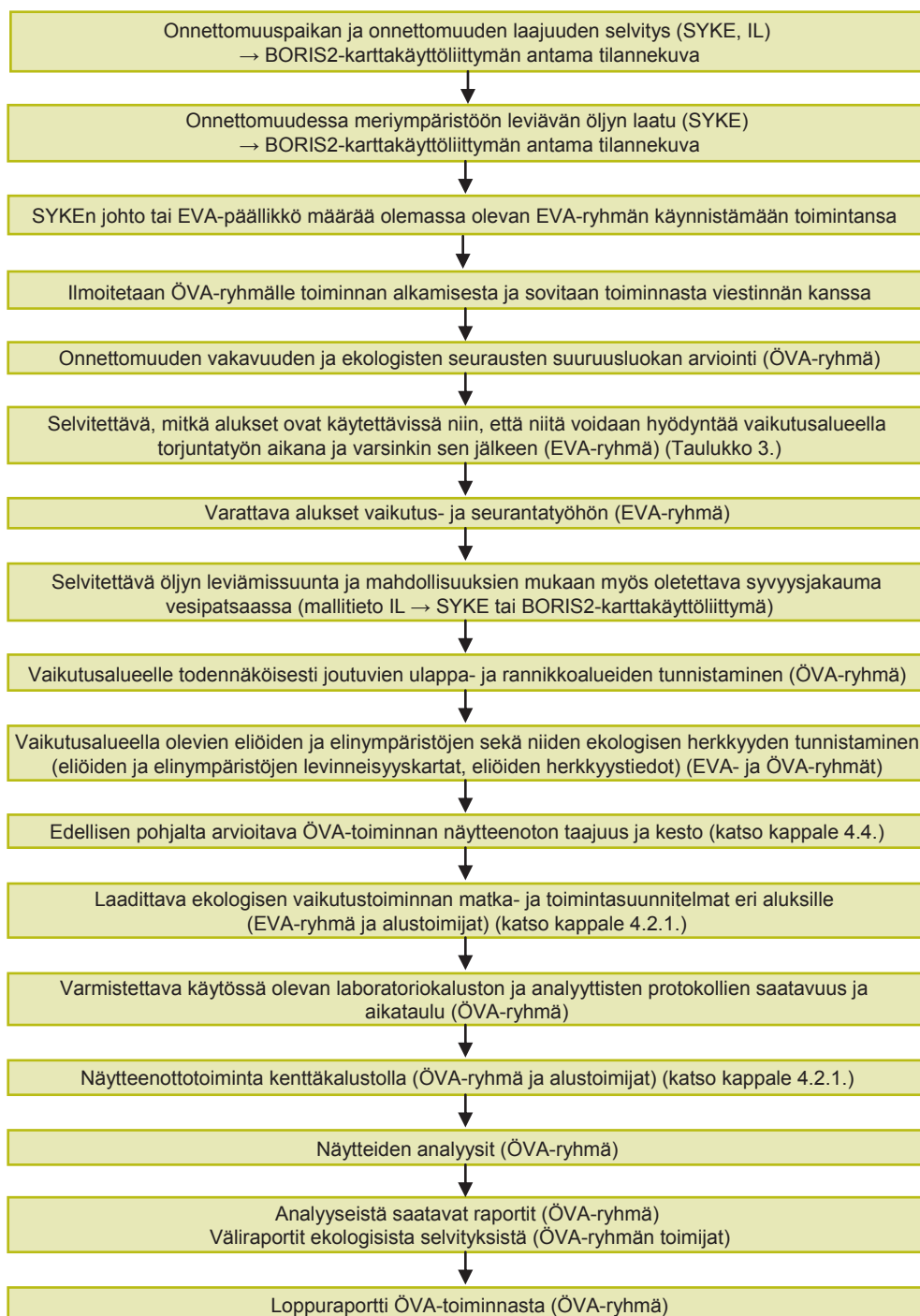
4 Toiminta öljyvahinkotilanteessa

Harri Kankaanpää, Heta Rousi, Heli Haapasaari

SYKEN ympäristövahinkopäivystäjä tai hänen nimeämänsä SYKEN ympäristövahinkojen torjuntaryhmän asiantuntija ilmoittaa ÖVA-toiminnan käynnistämistä edellyttävästä öljyvahingosta merellä ÖVA-ryhmän vastuuhenkilölle, joka käytännössä johtaa ÖVA-toimintaa. Ekologisten vaikutusten valmiusryhmä (EVA) on SYKEN sisäinen kokoonpano. EVA-ryhmän jäsenten tulee perehtyä toimintasuunnitelmaan ennakolta, jotta he osaavat varautua toimintaan vakavassa öljyvahinkotilanteessa. SYKEN lisäksi muissakin ÖVA-ryhmään kuuluvissa organisaatioissa tulee huomioida kuuluminen ÖVAan.

SYKEllä on myös erillinen valmiussuunnitelma ja valmiusryhmä erityistilanteita varten, joten ÖVA-toiminta on kytketty tämän valmiusryhmän toimintaan; ÖVA-ryhmän vastuuhenkilön tulee olla yhteydessä SYKEN valmiusryhmän johtajaan (yhteystiedot liitteessä 1). EVA-ryhmän jäsenten tulee myös tutustua tähän valmiussuunnitelmaan (dokumentti löytyy SYKEN sisäisiltä verkkosivuilta polkua viestintä → erityistilanne → valmiussuunnitelma). Kohdan viestintä ja erityistilanteet alta SYKEN sisäisiltä verkkosivuilta löytyvät myös viestinnän ohjeet erityistilanteissa, sekä yhteystiedot erityistilanteisiin.

SYKEN Merikeskus vastaa suunnitelman täytäntöönpanosta. Merikeskus varmistaa, että tarvittava EVA-ryhmän henkilöstö on käytettävissä kaikissa oloissa. Öljyvahingon tapahduttua työskentely tapahtuu alla olevan laatikkokaavion mukaisesti (Kuva 3). Kaaviossa kuvataan tehtävän selvityksen työvaiheita. Kaavio on tarkoitettu ekologisen vaikutustutkimusryhmän (EVA; Kuva 4) toiminnan ohjenuoraksi.



Kuva 3. ÖVA-toiminnan eri vaiheet. EVA = SYKEN ekologisten vaikutusten valmiusryhmä ja ÖVA = öljyvaikutusten arviointiryhmä.

Ekologisten vaikutusten tutkimisen vastuunjako öljyvahinkotilanteessa

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Yleinen toimintamalli

SYKE vastaa oman sisäisen organisaationsa ylläpitämisestä niin, että ÖVA-työskentely voidaan aloittaa nopeasti öljyvahingon tapahduttua (Kuva 5). ÖVA-ryhmän vastuuhenkilö välittää tiedon edelleen muille ÖVA-ryhmään kuuluville tahoille: kenttänäytteenottajille, tutkijoille ja laboratoriohenkilökunnalle. Jos analyysit tehdään tilausanalyysinä, on otettava ajoissa yhteyttä alihankkijaan analyysiajan varaamiseksi ja pyydyttävä näytteiden priorisointia.

RKTL ottaa kalanäytteet ja tekee altistuskokeet kaloilla sekä toimittaa kalanäytteet myös Elintarviketurvallisuusvirasto Eviraan. SYKEN öljynäytteenottajat ottavat pinta-öljynäytteitä öljypitoisuuksien seurantaan varten. SYKEstä ovat myös eläinplanktonnäytteenottajat, pohjaeläinnäytteenottajat ja sedimenttinäytteenottajat. Myös Metsähallitus ottaa eliönäytteitä. Kuvassa 5 on myös kuvattu ne keskuskeset ja yksiköt SYKEN sisällä, jotka osallistuvat ekologisten vaikutusten seurantaan öljyvahingon jälkeen.

Ekologisten seurannaisvaikutusten selvittämiseen liittyviä toimenpiteitä ei lähtökohtaisesti tehdä akuuttien öljyntorjuntatoimien yhteydessä. Sen sijaan esimerkiksi torjuntatoimien loppuvaiheessa öljyntorjunta-aluksia voidaan tarvittaessa hyödyntää ekologisessa näytteenotossa.

EVA-ryhmän vastuuhenkilö saa **SYKEN ympäristövahinkopäivystäjän** kautta tiedon (vakavasta) öljyvahingosta, joka uhkaa Suomen merialueita. Öljyvahinko on siis tapahtunut Suomen merialueella tai niin lähellä sitä, että huomattava määrä öljyä kulkeutuu Suomen talousvyöhykkeelle tai aluevesille. Avovesiolioissa kulkeutuminen tapahtuu alkuvaiheessa pääasiassa meriveden pinnalla. EVA-ryhmässä on arvioitava olosuhteiden, öljyvahingon laadun ja suuruuden perusteella, mihin ekologiisiin lokeroihin (vesikerrokset, plankton, sedimentoituva aine, sedimentit, eliöt) mereen päätyneet öljyt voi vallitsevassa tilanteessa päätyä. BORIS2-karttakäyttöliittymän lisäksi on tarkasteltava em. lähtötietoja.

Toimintaorganisaation tarkka kuvaus

Öljyvahinkotilanteessa ÖVA-työskentelyn käynnistämisestä vastaa Suomen ympäristökeskuksessa toimiva **ekologisten vahinkojen valmiusryhmä (EVA)** (Kuva 4). Tähän kuuluvat A) EVA-ryhmän vastuuhenkilö (vastaa toiminnasta ja yhteydenpidosta kaikkiin osapuoliin), B) biologisten vaikutusten vastuuhenkilö (vastaa SYKESsä tehtävistä vastetutkimuksista), C) tutkimusalusten kehittämispäällikkö (vastaa tutkimusalusten Aranda ja Muikku käytöstä), D) öljynäytteenoton vastuuhenkilö

(vastaa näytteenottokaluston toimintakunnosta), E) öljyanalytiikan vastuuhenkilö (vastaa kokonaisöljypitoisuuksien mittausten menetelmästä), F) öljynäytteenottajat (3 kpl, vastaavat näytteenotosta SYKEN tai muiden tahojen aluksilla), G) pohjaeläinnäytteenottajat (1-3 kpl, vastaavat näytteenotosta SYKEN tai muiden tahojen aluksilla).

EVA-ryhmän vastuuhenkilö vastaa yhteydenpidosta SYKEN johtoon sekä viestintään koskien ekologisten vaikutusten selvittämistä. Hän on tiiviissä yhteydenpidossa ympäristövahinkojen torjuntaryhmään, BORIS2-järjestelmän tuottamiin tietoihin ja tarvittaessa myös öljyn leviämislaskelmien tuottajaan (IL), sekä muihin ÖVA-toiminnan kannalta olennaisiin, ulkopuolisiin tahoihin (Kuva 5). Kaikki ÖVA-toimintaan liittyvä viestintä tapahtuu SYKEN kautta.

Etenkin rannikkoalueella tapahtuvaa toimintaa varten EVA-ryhmä joutuu turvautumaan Rajavartiolaitoksen, Meripelastusseuran ja paikallisten toimijoiden kuten Tvärminnen Eläintieteellisen Aseman (HY) kalustoon. Rannikotutkimuksissa voidaan käyttää myös tutkimusalus Muikkua, mikäli alus on käytettävissä. Eri tahoille on ilmoitettava vene-/alustarpeesta niin nopeasti kuin mahdollista; mm. Tvärminnen Saduria-veneelle ja SYKEN aluksille on tehtävä varaus.

4.1.1

Valmiustason ylläpitäminen ÖVA-toiminnassa

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Vesikeskus järjestää harjoituksia ÖVA-toiminnasta kuvitellussa ÖVA-toiminnan kynnyksen ylittävässä öljyvahingossa. SYKE järjestää Meripelastusseuran kanssa vuodesta 2012 alkaen vuosittain harjoituksen, jossa kerätään pintavesinäytteitä ja analysoidaan niiden öljypitoisuus HELCOM-öljyseurantaprotokollan mukaisesti ao. seurannasta vastaavassa laboratoriossa (v. 2012 SYKEssä).

SYKE vastaa siitä, että EVA-ryhmällä on käytettävissä riittävät resurssit (vastuuhenkilöt ja heidän varahenkilönsä sekä rahoitus) ja että käytännön toiminnassa tarvittava varusteisto (suojavarusteet, näytteenottimet, analyttiset laitteistot ja menettelmät) ovat asianmukaisella tasolla.

Suomen ympäristökeskuksen organisaatio äkillisten päästöjen aiheuttamien Meriekologisten vaikutusten selvittämiseksi

Käynnistää toimintansa
Vakavan öljy- tai kemikaalipäästön tapahtuessa
Suomen läheisillä merialueilla

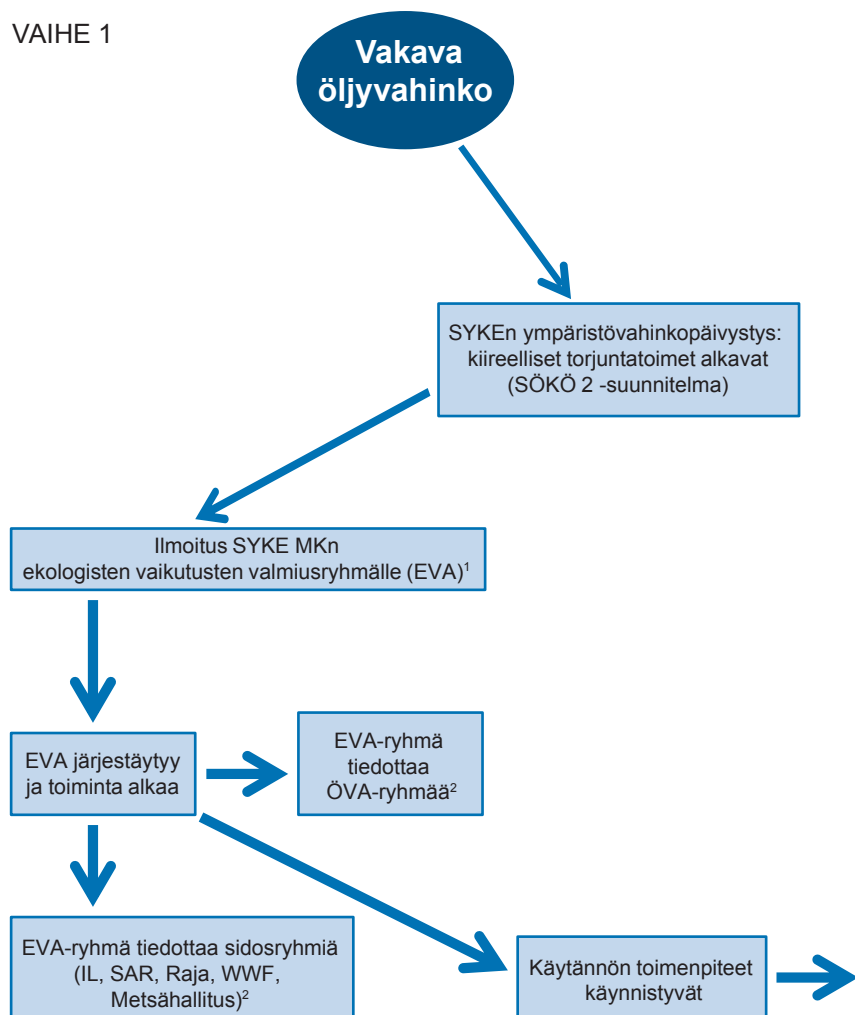
Ryhmä priorisoi työpanoksensa ÖVA-suunnitelman
mukaiseen toimintaan onnettomuustilanteessa ja jälkiseurantavaiheessa

Ekologisten vaikutusten valmiusryhmä (EVA) Sijainti: SYKE Merikeskus

EVA-A	EVA-B	EVA-C	EVA-D	EVA-E	EVA-F	EVA-G
valmiusryhmän päällikkö (vastaa toiminnasta ja yhteyden- pidosta)	biologisten vaikutusten vastuu- henkilö	SYKEN alustoiminnan kehittämisen päällikkö	SYKEN HELCOM- öljynäytteen- oton vastuu- henkilö	SYKEN HELCOM- öljynanalytiikan vastuuhenkilö	HELCOM- seurannan öljynäytteen- ottajat 3 kpl	HELCOM- seurannan pohjaeläin- näytteenottajat 1-3 kpl

Kuva 4. SYKEN sisäinen organisaatio: ekologisten vaikutusten valmiusryhmä (EVA).

VAIHE 1



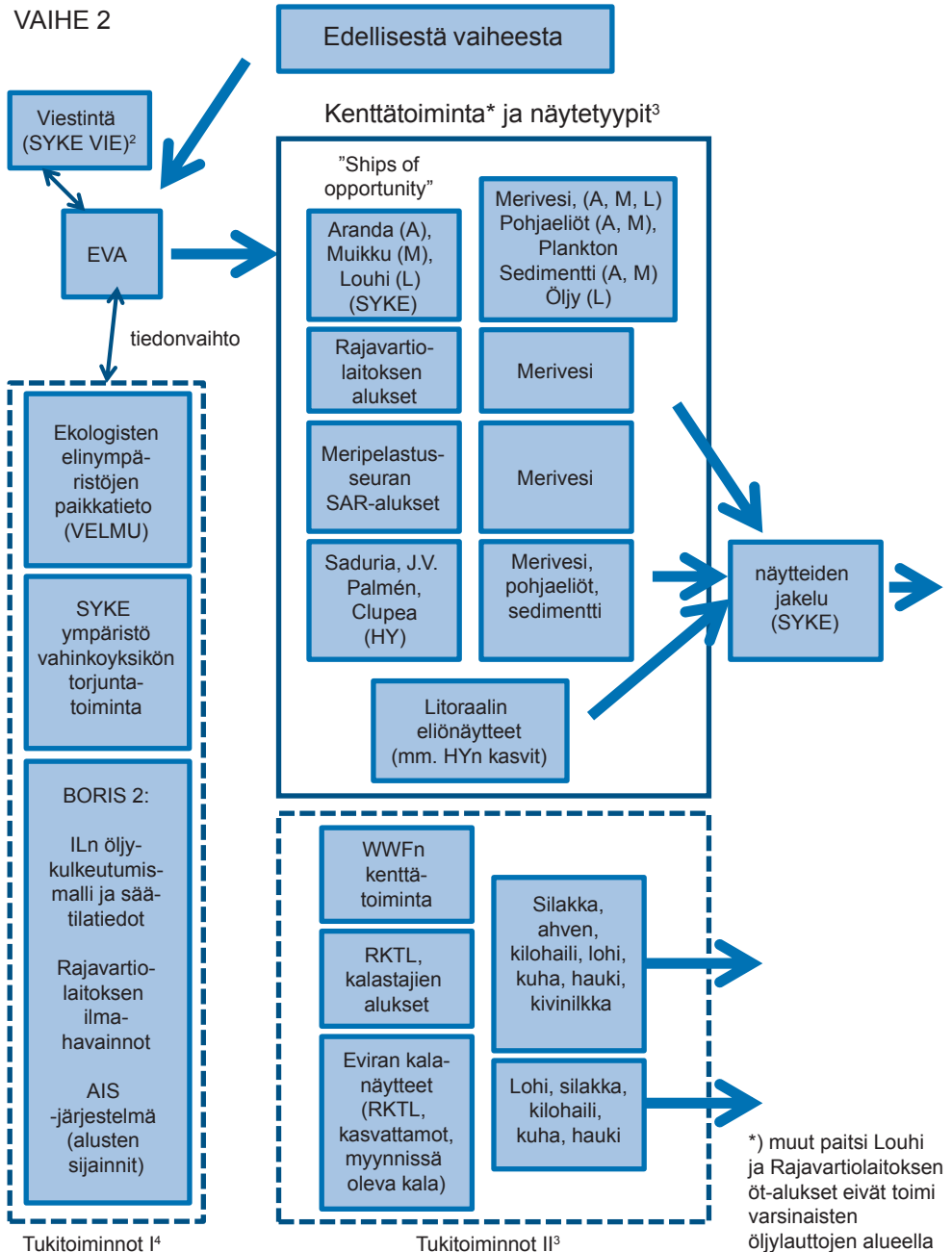
¹ EVA-organisaatio on kuvattu kuvassa 4

² Katso ÖVA-ryhmän ja tukitoimijoiden yhteystiedot liitteestä 1

³ Alus- ja kenttätoiminta (yhteystiedot löytyvät liitteestä 1)

⁴ SYKE:n ja sidosryhmien tuottama tarpeellinen taustatieto

VAIHE 2



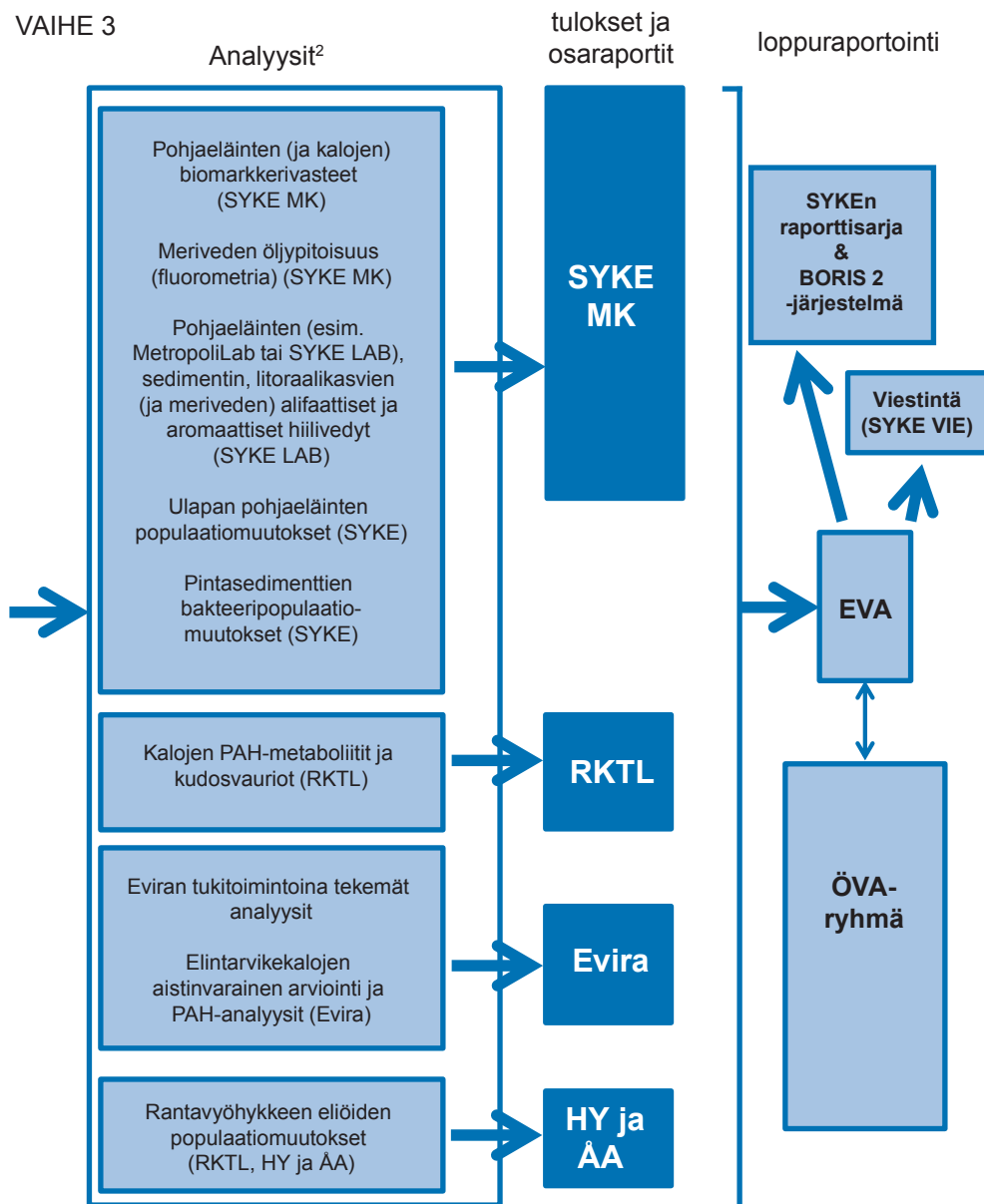
¹ EVA-organisaatio on kuvattu kuvassa 4

² Katso ÖVA-ryhmän ja tukitoimijoiden yhteystiedot liitteestä 1

³ Alus- ja kenttätoiminta (yhteystiedot löytyvät liitteestä 1)

⁴ SYKEN ja sidosryhmien tuottama tarpeellinen taustatieto

VAIHE 3



¹ EVA-organisaatio on kuvattu kuvassa 4

² Katso ÖVA-ryhmän ja tukitoimijoiden yhteystiedot liitteestä 1

³ Alus- ja kenttätoiminta (yhteystiedot löytyvät liitteestä 1)

⁴ SYKEN ja sidosryhmien tuottama tarpeellinen taustatieto

Kuva 5. Toimintakaavio äkillisten öljyvahinkojen ekologisten vaikutusten selvittämiseksi.

Tukitoiminta

Meri Hietala, Heta Rousi

Viranomaiset ovat vuodesta 2006 lähtien voineet käyttää SYKEN ylläpitämää BORIS-järjestelmää öljyntorjunnan tarpeisiin. BORIS-järjestelmän sähköinen linkki on <http://hertta.vyh.fi/boris>. Järjestelmään sisältyy ympäristöhallinnon hallinnassa olevia paikkatietoaineistoja sekä öljyntorjuntaa tukevia erillisiä aineistoja ja toimintoja. BORIS-järjestelmän korvaava uusi järjestelmä, BORIS2 on valmistunut kesällä 2012.

BORIS2 on Internet-pohjainen tilannekuvajärjestelmä, johon kaikki kansalliset öljyntorjuntaviranomaiset voivat saada käyttöoikeudet. Järjestelmää ja sen kehityshanketta on kuvattu tarkemmin sivulla www.ymparisto.fi/syke/boris2. BORIS2-järjestelmän kautta torjuntaviranomaiset saavat tietoa suojelun tarpeessa olevista herkistä luontokohteista, käytettävissä olevista torjuntaresursseista, meritilannekuvasta sekä säätilanteesta.

Kun viranomainen kirjautuu sisälle BORIS2-tilannekuvajärjestelmään, avautuu hänen käyttöönsä lomake, jonka välilehtien kautta käyttäjä voi seurata ja omalta osaltaan täydentää tietyn öljyvahingon tilannekuvatietoja. Näitä tilannekuvatietoja tulevat olemaan öljyvahinkoa koskevat perustiedot, lento- ja satelliittitiedusteluun perustuvat tiedot, rantatiedustelutiedot, likaantuneiksi todettuja alueita koskevat tiedot, öljyn kulkeutumisen suunnat ja torjuntaa koskevat toimintasuunnitelmat. BORIS2-järjestelmästä on mahdollista tulostaa erillisiä tilannekuvaraportteja niitä tahoja varten, joilla ei ole mahdollisuutta käyttää itsenäisesti BORIS2-järjestelmää.

Merenpohjien elinympäristöjen taustatietoa on saatavilla VELMU-hankkeen vastuushenkilöiltä tai ao. informaatiota arkistoivalta taholta. VELMU-mallinnustieto tulee ensisijaisesti sähköisessä muodossa ohjelman kotisivuille osoitteeseen <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=401354&lan=FI>. Tulevaisuudessa on mahdollista sisällyttää VELMU-laji- ja elinympäristömallinnustieto myös BORIS-järjestelmään.

Näytteenottotoiminnan kohdentamisessa ajankohtaiset ilmailuvantahavainnot voivat tuoda tarpeellista lisätietoa ja sisältyvät BORIS-järjestelmään. Tätä tietoa saadaan myös tarvittaessa Rajavartiolaitokselta.

Öljykulkeutumismallit (v. 2012) kuvaavat öljyn kulkeutumista meren pintakerroksessa, ei välivedessä. Mikäli näytteenottotoiminnan kohdentamisessa tarvitaan primääri- tai taustatietoa öljykulkeutumismalleista, sitä on saatavilla Ilmatieteenlaitokselta.

Tukitoimijoiden yhteystiedot on mainittu liitteessä 1 (perustuen 31.3.2012 tietoihin).

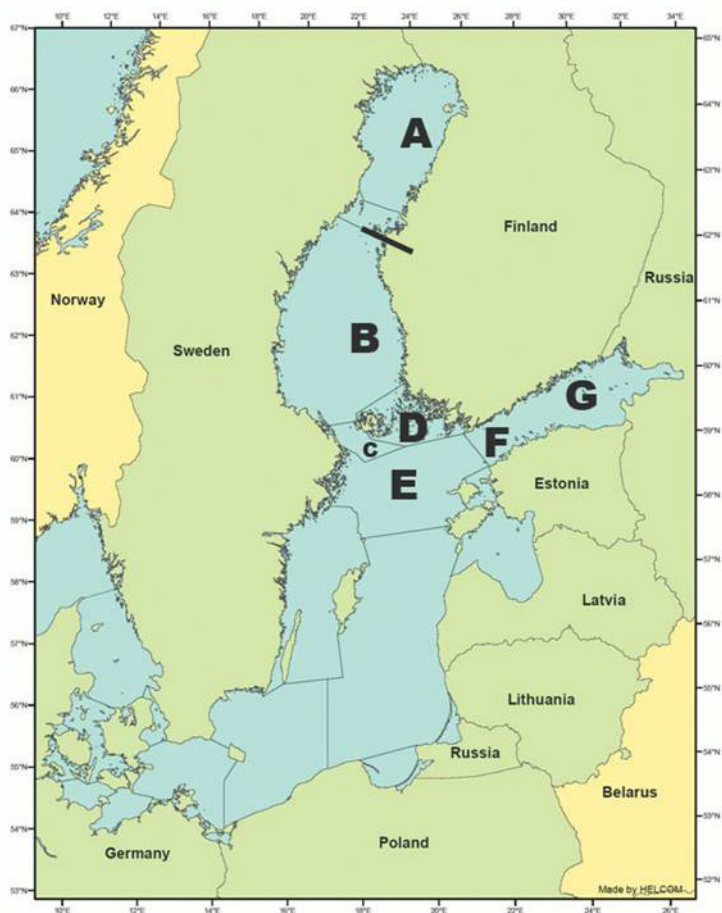
4.2.1

Käytettävissä oleva näytteenottokalusto eri merialueilla

Heta Rousi, Harri Kankaanpää, Heli Haapasaari

Seuraavat tahot voivat antaa aluskalustoaan käyttöön ÖVA-toimintaan (tilanne 31.3.2012): Suomen ympäristökeskus, merivoimat, Rajavartiolaitos, Meripelastusseura ja Helsingin yliopisto (Tvärminnen Eläintieteellinen Asema). Laajamittaisen öljyvahingon yhteydessä Suomen ympäristökeskus kohdentaa tutkimusalustensa toimintaa siten, että tämän suunnitelman mukaiset ekologiset selvitykset voidaan tehdä. Tämä merkitsee satamassa olevien tutkimusalusten käyttöönottoa sekä tutkimusmatkoilla olevien alusten reitin suuntaamista kohti öljyvahingon vaikutusaluetta tarkoituksenmukaisella hetkellä.

Kuvassa 6 on esitetty Suomea ympäröivät merialueet. Alla on lueteltu ne alukset, jotka tiedon mukaan voivat osallistua ekologisten tutkimusten tekemiseen.



Kuva 6. Merialueiden jako. ÖVA-toiminta tapahtuu Suomen merialueella. Alue A: Perämeri ja Merenkurkku, alue B: Selkämeri, alue C: Ahvenanmeri, alue D: Saaristomeri, alue E: pohjoinen Itämeri, alue F: läntinen Suomenlahti ja alue G: itäinen Suomenlahti.

SYKE

Aranda

Kotisatama Helsinki, nopeus 10 kn, merentutkimusalus, erinomainen soveltuvuus kaikkeen ÖVA-toimintaan.

Muikku

Kotisatama Savonlinna, nopeus 10 kn, merentutkimusalus, soveltuu kaikissa oloissa rannikkovesien ÖVA-toimintaan ja hyvissä olosuhteissa ulapan ÖVA-toimintaan.

MERIVOIMAT

Louhi

Kotisatama Upinniemi, Kirkkonummi, nopeus avovedessä 15 kn, monitoimialus, jonka päätehtävänä SYKE:n tehtävissä on öljyntorjunta. Tarvittaessa merivesi-, pohjaeläin- ja sedimenttinäytteet voidaan ottaa alukselta. Aluksessa on pieni laboratorio näytteiden esikäsittelyyn.

RAJAVARTIOLAITOS

Rajavartiolaitoksella on kuusi vartiolaivaa, joista kolme on varustettu myös öljyntorjunta-aluksiksi. Lisäksi Rajavartiolaitoksella on useita kymmeniä partioveneitä. Rajavartiolaitoksella on myös lentokoneita ja helikoptereita. Alla on lueteltu muutamia. Lisätietoa saa esimerkiksi Rajavartiolaitoksen sivuilta <http://www.raja.fi/rvl/home.nsf/pages/indexfin>. Tosilanteessa myös ympäristövahinkojen torjuntaryhmän vastuuhenkilöltä sekä Rajavartiolaitoksen yhteyshenkilöltä (Liite 1) saa tietoa Rajavartiolaitoksen käytettävissä olevista aluksista.

Suomenlahden merivartiosto

Suomenlahden Merivartiostossa on kaksi vartiolaivaa, Tavi ja Merikarhu, joiden kotisatama on Helsinki. Tulevaisuudessa käytettävissä on myös kolmas alus.

Merikarhu; nopeus 12 - 15 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät, merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

Tavi; nopeus 14 - 20 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät, merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

Rajavartiolaitoksen tuleva alus: laivassa tulee olemaan laboratoriotilat sekä hyttimajoitustilaa noin 40 henkilölle. Alukseen on suunnitteilla tutkimuskontit.

Länsi-Suomen merivartiosto

Länsi-Suomen Merivartiostossa on neljä vartiolaivaa, joiden kotisatama on Turku.

Tursas: nopeus 11 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät, merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

Uisko: nopeus 12 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät (valmius toimia jopa 50 cmn kiintojäätissä), merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

Telkkä: nopeus 12 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät, merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

Tiira: nopeus 11 kn, esim. vartio- ja öljyntorjuntatehtävät, merivesinäytteet, CTD-luotaukset, läpivirtausnäytteet, ei laboratorioita.

MERIPELASTUSSEURA

Alukset soveltuvat vain vesinäytteiden keräämiseen paitsi PV5-alustyyppi, jonka soveltuvuutta pohjaeläinnäytteenottoon voi erikseen testata.

Hamina: PV Hallikari, nopeus 32 kn, toimintasäde 130 nm ja PV Pikkumusta, nopeus 34 kn.

Kotka: PV Kotka, nopeus > 32 kn, toimintasäde 150 mpk ja PV 2, nopeus 35 kn , toimintasäde 120 nm.

Loviisa: PV Degerby, nopeus 28 kn, Toimintasäde 110 nm.

Porvoo: PR Mac Elliot, nopeus 18 kn, toimintasäde 200 M.

Helsinki: PV5 Rautauoma, nopeus 30 kn, toimintasäde 150 mpk ja PR Jenny Wihuri, nopeus 18 kn, toimintasäde 400 nm.

Porkkala: PV Aktia, nopeus 30 kn, toimintasäde 170 M ja PV2, nopeus 35 kn, toimintasäde 120 Nm.

Inkoo: PV Fagerö, nopeus 30 kn.

Hanko: PR Russarö, nopeus 16 kn, toimintasäde 200 nm ja PV Betty, nopeus 30 kn, toimintasäde 50 nm.

Saaristomeri ja Länsi-Turunmaa: PV Paroc, nopeus 19 kn, toimintasäde 140 nm ja PV Galilei, nopeus 32 kn, toimintasäde 52 kn.

Turku: PV Otkantti, nopeus 10 kn; PV Rajakari, nopeus 20 kn; PV Arvinsilmä, nopeus 17 kn ja PV Viittakari, nopeus 17 kn.

Salo: PV Draken, nopeus 28/34 kn; AV Tossu, nopeus 30 kn ja AV Boistö 3, nopeus 28/34 kn.

Naantali: PV Nunnalahti, nopeus 10 kn, toimintasäde 100 nm ja PV Teuvo, nopeus 30 kn, toimintasäde 50 nm.

Uusikaupunki: PR Janne Malèn, nopeus 18 kn, toimintasäde 200 nm ja PV Vekara, nopeus 28 kn ja toimintasäde 70 nm.

Sydväst: PV Paroc, nopeus 19 kn.

Rauma: PV Hoppe, nopeus 10 kn ja PV2, nopeus 33kn.

Pori: PR Reposaaari I, nopeus 9 kn ja PV Repo, nopeus 30 kn.

Kaskinen: PR Torbay, nopeus 15 kn, toimintasäde 130 nm ja PV Orion, nopeus 30 kn ja toimintasäde 60 nm.

Vaasa: PV Wärtsilä Rescue, nopeus 35/46 kn, toimintasäde 100 nm.

Korsnäs: Targa rescue, nopeus 32 kn ja AV 16, nopeus 32 kn.

Pietarsaari: PV Otto Malm, nopeus 30 kn, toimintasäde 50 - 60 nm ja AV Mini Otto, nopeus 35 kn ja toimintasäde 30 nm.

Kokkola: PR Sälgrund, nopeus 9 kn, toimintasäde 250 nm ja PV Matts, nopeus 32 kn ja toimintamatka n. 80 M.

Raahe: PR Niilo saarinen, nopeus 9 kn; PV Pikku Niilo, nopeus 28 kn; AV Aavenopeus 32 kn.

Oulu: PV Toppila, nopeus 16 kn, toimintasäde 200 nm; PV Hailuoto, nopeus 30 kn ja toimintasäde 50 nm.

Kemi: PR Hebe, nopeus 18 kn ja toimintasäde 100 nm ja PV Laitakari, nopeus 32 kn ja toimintasäde 20 nm.

Tornio: PV Karppe, nopeus 32 kn.

HELSINGIN YLIOPISTO / TVÄRMINNEN ELÄINTIETEELLINEN ASEMA

Alusten käytön etuna on mahdollisuus käyttää alueella olevaa laboratorioinfrastruktuuria näytteiden esikäsittelyssä ja analysoinnissa.

Saduria: nopeus 9 kn, pohjaeläin-, sedimentti- ja vesinäytteiden kerääminen, pieni toimintasäde, soveltuu vain rannikkovesillä operointiin, ei laboratoriota.

Clupea: nopeus 10 kn, vesinäytteiden kerääminen.

J.A. Palmén: nopeus 17 kn, vesinäytteiden kerääminen.



Merivoimien öljyntorjunta-alus Tursas (Kuva: Rajavartiolaitos).

Aluksien saatavuus ekologisten selvitysten tekoon selvitetään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Arvioinnissa huomioidaan öljyvahingon vaikutusalue suhteessa aluksen sijaintiin/kotisatamaan, aluksella käytettävissä oleva kalusto, toimintasäde, nopeus, sitoutuminen muihin tehtäviin, jne. On tarkoituksenmukaista käyttää ekologisissa tutkimuksissa niitä aluksia tai veneitä, jotka ovat liikenteessä mahdollisimman lähellä öljyvahingon vaikutusaluetta. Tämä on kustannustehokkain ratkaisu, johon EVA pyrkii. Yleiskuvan muodostamisessa auttavat BORIS2-järjestelmän tilannekuva ja tutkimusalusten vuotuiset reittisuunnitelmat. Liitteessä 1 on mainittu yhteystiedot koskien tärkeimpiä aluspoolitahoja (perustuen 31.3.2012 tietoihin).

Mikäli suomalaiset tutkimusalukset kuten Aranda, Muikku tai Saduria eivät ole käytettävissä, öljylautan ulkopuolella tapahtuva näytteenotto tehdään esimerkiksi Rajavartiolaitoksen tai Meripelastusseuran aluksilla. Rajavartiolaitoksen öljyntorjunta-alukset hoitavat kuitenkin ensisijaisesti öljyntorjuntaan liittyviä tehtäviä. Myös ja erityisesti Rajavartiolaitoksen muut alukset ja veneet ovat tarvittaessa käytettävissä öljytutkimustoimintaan soveltuvien osien.

Yleisiä huomioita näytteenottoaluksista

Heta Rousi, Heli Haapasaari, Harri Kankaanpää

Tutkimusalukset soveltuvat hyvin kaikenlaiseen näytteenottoon, koska niissä on tarvittava varustus, toiminnallisuus ja turvataso. Tutkimusalukset eivät kuitenkaan voi mennä ottamaan näytteitä öljylauttaan. ÖVA-toiminnassa näytteenotto onkin tarkoitus kohdistaa näkyvän lautan ulkopuolelle sekä tausta- ja seurantapitoisuusmittauksiin.

Öljyntorjuntatehtävässä olevilta torjunta-aluksilta voidaan ottaa näytteitä öljylautasta ja öljyvahingon aiheuttajan tankeista. Torjunta-alukset öljyntyvät torjuntatehtävässä. Niiden käyttöä näytteenottoon öljyn päävaikutusalueen ulkopuolelta sen jälkeen, kun varsinaiset öljyntorjuntatoimet on suoritettu ja alus on matkalla rantaan, tulee harkita tapauskohtaisesti. Öljyntorjunta-alusten keräämät öljynäytteet eivät kuitenkaan lähtökohtaisesti sisälly ÖVA-ryhmän tekemiin selvityksiin. Näytteitä voidaan tarvittaessa kerätä öljyntorjuntatoimien yhteydessä ja toimittaa ÖVA-ryhmälle kemiallisten analyysien vertailukohdaksi.

Torjunta-aluksilta, kuten kaikilta muiltakin aluksilta ja veneiltä, joita ei ole tarkoitettu tutkimuskäyttöön, onnistuu ainakin öljynäytteenotto vedestä. Rajavartiolaitoksen uusinta alusta on mahdollisuus kehittää niin, että kaikenlainen ÖVA-toiminta onnistuu siltä käsin.

Rajavartiolaitos on Sisäasiainministeriön alaisuudessa toimiva rajaturvallisuuden ja meripelastuksen asiantuntija, joka toimii myös yhteistyössä SYKEN kanssa meriseurannassa ja öljyntorjuntatehtävissä. Öljyvahingon sattuessa Rajavartiolaitos ottaa öljynäytteet vedestä öljyn identifiointia varten ja toimittaa ne Keskusrikospoliisin Rikostekniseen laboratorioon tutkittaviksi (katso kappale 3.3.). Rajavartiolaitoksen henkilöstö ottaa tarvittaessa itsenäisesti näytteitä ja toimittaa ne tutkittaviksi.

Meripelastusseura on Sisäasiainministeriön ja Rajavartiolaitoksen esikunnan alaisena toimiva pelastusviranomainen, joka toimii pääasiassa meripelastuksessa onnettomuuksien yhteydessä, mutta myös muissa merellä tapahtuvissa hälytystehtävissä. Meripelastusseuran jäsenet ovat kenttätoimintaan koulutettuja ja ovat valmiita toimimaan yhteistyössä SYKEN kanssa ympäristöseurantaan ja näytteenottoon liittyvässä toiminnassa. Pintanäytteenottoa PV5-tyypin veneellä, Rautauomalla, on harjoiteltu Helsingin edustalla ja havaittu, että vene soveltuu hyvin öljynäytteenottoon vedestä. PV5-venetyyppi soveltuu mahdollisesti myös pohjaeläinnäytteenottoon, koska veneessä on 180 m pitkä köysivinssi. Pohjaeläinnäytteenottoa varten veneeseen on kuitenkin vietävä siihen tarvittava varustus, kuten Van Veen –noudin, seulasarja, saavit ja kannettava pakastin, nestetyyppi tai hiilihappojää, jos otetaan ekotoksikologisia näytteitä. Myös muut Meripelastusseuran venetyypit sopivat todennäköisesti pinta-öljynäytteenottoon. Meripelastusseuralla on venekalustoa ympäri Suomen rannikko

(paitsi Ahvenanmaalla, missä toimii Ålands sjöräddningssällskap), mikä mahdollistaa lähinnä öljyn vaikutusaluetta olevan veneen/veneiden käytön tutkimuksissa.

Helsingin Yliopiston Tvärminnen Eläintieteellisen Aseman alusten (Saduria, Clupea ja J. A. Palmén) käytön etuna on mahdollisuus käyttää myös Tvärminnen alueella olevaa laboratorioinfrastruktuuria näytteiden esikäsittelyssä ja analysoinnissa. Sadurialta onnistuu myös pohjaeläin- ja sedimenttinäytteenotto.

Näytteenoton valmistelua vesiöljynäytteen mittaamiseksi Meripelastusseuran PV5-alus Rautauomalla (Kuva: Heta Rousi/SYKE).

4.3

Näytteenoton ajallinen ja paikallinen kohdentaminen

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Perusperiaatteena on ekologisten selvitysten tekeminen tunnetulla vaikutusalueella ja sitä ympäröivillä lähivesillä seuraavasti:

- 1) toiminta ei häiritse öljyntorjuntaa
- 2) tutkimusalusten tapauksessa näytteenottohetkellä meren pinnalla tai välivedessä (jos tilanne on tiedossa) ei ole huomattavia määriä öljyä
- 3) kenttätöitä ajoitetaan eri toiminta-alueilla niin, että ne tehdään sitten kun öljylautta on kerätty talteen, tai se on haihtunut, vajonnut tai siirtynyt vahinkoalueelta aluevesien ulkopuolelle
- 4) mahdollinen öljyntorjunta-aluksilta tehtävä pohjaeläinnäytteenotto ei aiheuta näytteiden kontaminaatiota.

ÖVA-toimintaa varten näytteitä ei siis lähtökohtaisesti kerätä öljylautasta tai käyttäen öljylautan alueella / sisällä olevaa alusta. Öljyntorjunta-alukselta käsin (öljyn välittömältä päävaikutusalueelta) voidaan kerätä pohjaeläinnäytteitä, mutta tällöin on näytteenotossa tapahtuva öljysaastuminen minimoitava. Mikäli näytteet voidaan kerätä ilman, että ne saastuvat väli- tai pintavedessä olevalla öljyllä, ne ovat todennäköisesti käyttökelpoisia tässä suunnitelmassa kuvattuihin ekologiin selvityksiin.

Parasta olisi, jos taustamittausarvoja on käytettävissä useilta merialueilta ennen minkään suuremman öljyvahingon tapahtumista. Öljyvahingon jälkeiset akuuttivaiheen tutkimukset täytyy todennäköisesti suorittaa erillisinä matkoina, ellei Arandan tai Muikun tutkimusmatka ole juuri käynnissä öljyvahinkoalueella samaan aikaan ja ellei tutkimusmatkan ohjelmaa pysty tällöin muuttamaan niin, että tehtäisiin myös tarvittavat öljytutkimukset. Mahdollisista muutoksista on sovittava tutkimusalusten koordinaation ja matkanjohtajien kanssa (Liite 1).

Muikun vuosittainen rannikkoseurantamatka Suomenlahdella ajoittuu normaalisti elokuun kahdelle ensimmäiselle viikolle ja tutkimusmatkalla otetaan mm. pohjaeläin-, sedimentti-, vesi- ja kasviplanktonnäytteet. Myös muuta näytteenottoa on todennäköisesti mahdollisuus sovittaa Muikun rannikkoseurantamatkaan, mutta

asia on suunniteltava matkanjohtajan kanssa. Arandan matkoista COMBINE 1 -matka Suomen avomerialueella ajoittuu tammi-helmikuulle ja sen aikana seurataan mm. ravinteita, hydrografiaa, öljypitoisuutta, eläinplanktonia ja tulokaslajeja. COMBINE 2 -matka Suomen avomerialueella ja Itämeren pääaltaalla ajoittuu touko-kesäkuulle ja sen aikana tehdään mm. pohjaeläinten, hydrografian ja pohjan happitilanteen seuranta. COMBINE 3 -matka Suomen avomerialueella ja Itämeren pääaltaalla ajoittuu elokuulle ja sen aikana tehdään suola-, happipitoisuus-, ravinne-, meriveden öljy-, kasvi- ja eläinplanktonmittauksia.

Yleisesti ottaen ainoastaan merentutkimukseen tarkoitettut alukset ovat sellaisia, joilta käsin voidaan kaikki laatukriteerit täyttäen kerätä kaikkia näytemateriaaleja (mukaan lukien sedimentti- ja planktonnäytteet). Useimmilla näistä tutkimusaluksista voidaan myös tehdä näytteiden jatkokäsittelyä ja laboratorioanalyysijä. Sen sijaan kaikki alukset soveltuvat merivesinäytteiden keräämiseen. Muun yllä kuvatun aluskaluston käyttö on tarpeellista, jos tutkimusalusten käyttö ei ole mahdollista.

4.4

Näytteenoton taajuus ja kesto

Harri Kankaanpää, Ulla Luhtasela

Mikäli öljyvahinko tapahtuu hetkellä, jolloin planktonkukinta on voimakasta (maalis-toukokuussa ja heinä-elokuussa), plankton sitoo itseensä osan öljy-yhdisteistä. Näissä olosuhteissa planktonin analysointi on tarpeen. Planktonkukinnan päättyessä jäljelle jäänyt aines vajoaa pohjaan ja lisää sedimentin pinnalle joutuvien öljyperäisten yhdisteiden määrää. Tämä on syytä huomioida sedimenttinäytteenottoa suunniteltaessa.

Planktonkukinnan vaiheen selvittämiseksi käytetään hyväksi kaukokartoitustietoa, meriveden fluoresenssiseuranta sekä planktonlajien seuranta.

Mikäli öljyvahinko on tapahtunut jääolosuhteissa, jäänäytteitä ei kerätä, mutta huomioidaan saastuneen jään liike näytteenottoa suunniteltaessa. Kun jää-öljykenttään ilmestyy aukkoja, voidaan harkita pohjaeläinnäytteenottoa (mutta huomioiden saastumisvaara).

Näytteenotto tehdään tilanteen salliessa seuraavasti:

A. merivesinäytteet

- A1. ensimmäiset näytteet heti kun mahdollista
- A2. noin 1-2 viikon välein kahden kuukauden ajan
- A3. noin kuukauden välein seuraavan puolen vuoden ajan
- A4. noin 2-4 kertaa vuodessa seuraavan 5-10 vuoden ajan

Tuloksia vertailtaessa on tärkeää verrata aina kutakuinkin saman ajankohdan tuloksia keskenään (ei esimerkiksi talvikauden tuloksia kesäkauden arvoihin).

B. pohjaeläinnäytteet

- B1. ensimmäiset näytteet heti kun mahdollista
- B2. noin viikon kuluttua öljyvahingosta (ellei tehty jo kohdassa B1)
- B3. noin 2 kuukauden välein vuoden ajan
- B4. noin 2 kertaa vuodessa seuraavan 5-10 vuoden ajan

C. rannikkovyöhykkeen vesikasvinäytteet

- C1. ensimmäiset näytteet heti kun mahdollista
- C2. noin 2 kuukauden välein vuoden ajan
- C3. noin 1-2 kertaa vuodessa seuraavan 5-10 vuoden ajan

D. sedimenttinäytteet

- D1. ensimmäiset näytteet heti kun mahdollista
- D2. noin 2-3 viikkoa seuraavan planktonkukintahuipun jälkeen
- D2. noin 1-3 vuoden välein seuraavan 5-15 vuoden ajan

E. planktonnäytteet (mikäli öljyvahinko ajoittuu planktonkukinnan ajankohtaan tai lähelle sitä)

- E1. ensimmäiset näytteet heti kun planktonia esiintyy
- E2. noin 1-2 viikon välein kevätkukinnan aikana aina kesäkukinnan loppuun asti
- E3. mikäli kevätkukinta on jo ohi: noin 1-2 viikon välein aina kesäkukinnan loppuun asti
- E4. yksi näytteenotto vielä seuraavan vuoden kevätkukinnasta

F. kalanäytteet

- F1. Ensimmäiset näytteet heti, kun mahdollista
- F2. Noin 1-2 viikon välein kahden kuukauden ajan, mikäli kaloissa havaitaan suurentuneita PAH-pitoisuuksia (tai raskasmetalleja)
- F3. tarvittaessa seurantanäytteitä kerran vuodessa tapauskohtaisesti harkittavasta kalalajista tai -lajeista

Vallitsevien olosuhteiden mukaan toiminnassa sallitaan katkoksia.

4.5

Merivesinäytteenotto

Harri Kankaanpää

Merivesinäytteiden keräämisessä on huomattava, että öljy-yhdisteet eivät välttämättä ole täysin homogeenisesti jakautuneet vesimassaan. Joissakin vesikerroksissa voi esiintyä vajoamistilaan joutunutta öljyä, jota ei pinnalta käsin voida havaita.

ÖVA-toiminnan näytteenottoa ei pääsääntöisesti tehdä olosuhteissa, joissa öljyä on merivedessä runsaasti (selvänä lauttana tai pintakalvona). Käytettävissä oleviin ilmavalvonta- ja satelliittitietoihin sekä öljyn leviämismalleihin perustuen merinäytteenotto kohdennetaan öljylautan reunan ulkopuolisille alueille tai alueille joilla pinnalla oleva öljy on jo haihtunut tai öljy on vajonnut syvempiin vesikerroksiin. Merivesinäytteitä kerätään tilanteen mukaisesti sekä rannikko- että avomerialueelta aina Suomen talousalueen rajalle asti. Mahdollista muiden valtioiden talousalueella tapahtuvaa operointia varten haetaan tarpeen vaatiessa nopeasti luvat.

Öljynäytteenotto tapahtuu HELCOM COMBINE -seurantaprotokollaa (SYKEN ohje) noudattaen. Näytteenotossa kerätään merivesinäytteitä pinnanalusvedestä ja 1 m syvyydeltä. Lisäksi näytteenottopaikan syvyyden salliessa otetaan näytteitä syvyyksiltä 10 m, pohjan syvyys / 2 ja pohja +1 m. Näytteenotto aloitetaan mieluiten syvimmästä vesikerroksesta, mikäli se ei muista syistä johtuen ole mahdollista. Yli 10 m syvyydellä olevat näytteet voidaan ottaa myös Hydro-Bios -tyyppisillä tai vastaavilla noutimilla.

Tavanomaisen kahden rinnakkaisvesinäytteen lisäksi kerätään mahdollisuuksien mukaan toiset kaksi merivesinäytettä kutakin näytteenottosyvyyttä kohti tarkempia hiilivetyanalyysjä varten. Ennen analysoinnin aloittamista näyte (1 litra) säilytetään +4°C:ssa. Näyte voidaan, muita kuin HELCOM-seurannan analyysjä varten, kestäväidä mineraalilapolla pH 2:teen.

Mikäli näytteenottimien saastumisvaara on ilmeinen, on kiinnitettävä erityistä huomioita näytteenottimien puhdistukseen näytteenottokertojen välissä. Näytteenotto tapahtuu ao. toimintaan koulutettujen henkilöiden toimesta.

Näytteiden analysointi tapahtuu HELCOM COMBINE -seurantaprotokollan (SYKE) mukaisesti mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen SYKEN merikeskuksessa. Öljyseurannan protokollassa käytettävää kalibrointialuetta laajennetaan vähintään pitoisuuteen 5,0 µg/l (mikrogrammaa litrassa).

Mikäli operoidaan muilla aluksilla kuin Aranda, eikä mukana ole analysointiin tarvittavia laitteistoja, aloitetaan näytteiden uuttaminen lisäämällä tarvittava määrä heksaania jo kentällä.

Suomen ympäristöviranomaiset voivat EVA-ryhmän koordinoimana päättää myös muista meriveden näytteenottoon liittyvistä lisätoimista.

4.5.1

Saatujen merivesitulosten arviointi

Harri Kankaanpää

Pintavesituloksia vertaillaan suhteessa mahdollisimman läheltä ennen öljyvahinkoa saatuihin, vastaavan vuodenajan arvoihin. Talvi- ja kesäkauden tuloksia ei tulisi vertailla keskenään. Syvempien vesikerrosten osalta ei ole täsmällisiä vertailukoh-

tia, mutta pintavedelle esitettyjä öljypitoisuuksia voidaan käyttää riittävän hyvänä vertailukohtana (Taulukko 3.).

Taulukko 3. Itämeren eri ulappa-alueiden 2000- ja 2010-luvulla havaittuja tyypillisiä pitoisuusalueita, joita voidaan käyttää vertailukohtana.

Alue	Tyypillinen öljypitoisuus 2000-2012 (µg/l)
Perämeri	0,4-0,7 (talvi) 0,1-0,3 (kesä)
(muu) Pohjanlahti	0,3-0,8 (talvi) 0,1-0,3 (kesä)
Ahvenanmeri	0,4-0,7 (talvi) 0,2-0,3 (kesä)
Pohjoinen Itämeri (Suomen EEZ-alueen rajaan asti)	0,6-1,0 (talvi) 0,2-0,5 (kesä)
Läntinen Suomenlahti	0,5-0,7 (hetkellisesti 1,4; talvi) 0,2-0,5 (kesä)
Keskinen Suomenlahti	0,4-0,9 (talvi); pitoisuusvaihtelu voimakasta 0,2-0,5 (kesä); pitoisuusvaihtelu voimakasta
Itäinen Suomenlahti	0,3-1,0 (talvi); 0,2-0,5 (kesä)

Kunkin alueen pitoisuusskaalan alaraja on havaittu jakson loppupuolella. Vertailussa on otettava huomioon myös vuoden 2012 jälkeen syntynyt seuranta-aineisto.

Tärkeimmät kynnysarvot meriveden öljysaastumiseen ovat 0,2, 1,0, 1,5 ja 2,5 µg/l merivettä. Merivesinäytteistä HELCOM COMBINE -seurantaprotokollan kautta saatuja pitoisuuksia tarkastellaan seuraavasti:

Mikäli pitoisuus on 0,2 - 0,3 µg/l tai sen alle, öljypitoisuus on erittäin alhainen eikä ao. tuloksesta tehdä muita johtopäätöksiä.

Tapauksissa, joissa mikään alla olevista kriteereistä ei täyty, merivesi ei ole öljyllä havaittavasti saastunut.

Tapauksissa, joissa alla olevien pitoisuusalueiden kriteerit täyttyvät, mutta prosentuaaliset muutokset eivät toteudu, meriveden saastuneisuusaste voidaan ilmoittaa. Lisäksi todetaan, että öljyvahingon takia pitoisuudet eivät ole muuttuneet ennen öljyvahinkoa havaitusta.

- Mikäli meriveden talvikaudella havaittu öljypitoisuus on pitoisuusalueella 0,50 - 0,99 µg/l ja samanaikaisesti vähintään 50 % suurempi kuin tutkitulla alueella talvikautena edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin, tutkittu merivesi on todennäköisesti **lievästi saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- Mikäli meriveden kesäkaudella havaittu öljypitoisuus on pitoisuusalueella 0,40 - 0,99 µg/l ja samanaikaisesti vähintään 100 % suurempi kuin tutkitulla alueella kesäkaudella edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin, tutkittu

merivesi on todennäköisesti **lievästi saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.

- Mikäli meriveden talvikaudella havaittu öljypitoisuus on 1,00 - 1,50 µg/l, tutkittua merivesikerrosta voidaan pitää todennäköisesti **yleisesti öljyllä saastuneena**. Mikäli havaittu pitoisuus tutkimusalueella on lisäksi vähintään 50 % suurempi kuin edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin talvikaudella, merivesi on todennäköisesti **saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- Mikäli meriveden kesäkaudella havaittu öljypitoisuus on 1,00 - 1,50 µg/l, tutkittua merivesikerrosta voidaan pitää todennäköisesti **yleisesti öljyllä saastuneena**. Mikäli havaittu pitoisuus tutkimusalueella on lisäksi vähintään 100 % suurempi kuin edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin kesäkaudella, merivesi on todennäköisesti **saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- Mikäli merivesinäytteen kesäkaudella havaittu öljypitoisuus on välillä 1,51 - 2,50 µg/l, tutkittua merivesikerrosta voidaan pitää todennäköisesti **yleisesti voimakkaasti öljyllä saastuneena**. Mikäli havaittu pitoisuus tutkimusalueella on vähintään 100 % suurempi kuin edeltävän viiden vuoden aikana kesäkaudella keskimäärin, merivesi on todennäköisesti **voimakkaasti saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- Mikäli merivesinäytteen talvikaudella havaittu öljypitoisuus on välillä 1,51 - 2,50 µg/l, tutkittua merivesikerrosta voidaan pitää todennäköisesti **yleisesti voimakkaasti öljyllä saastuneena**. Mikäli havaittu pitoisuus tutkimusalueella on lisäksi vähintään 50 % suurempi kuin edeltävän viiden vuoden aikana talvikaudella keskimäärin, merivesi on todennäköisesti **voimakkaasti saastunut öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- mikäli havaittu öljypitoisuus on mihin vuodenaikaan tahansa yli 2,5 µg/l, mutta alle 100 % suurempi kuin samana vuodenaikana edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin merivesi on **erittäin voimakkaasti saastunut öljyllä ja saastuneisuus on lisääntynyt öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.
- mikäli havaittu öljypitoisuus on mihin vuodenaikaan tahansa yli 2,5 µg/l, ja on samalla vähintään 100 % suurempi kuin samana vuodenaikana edeltävän viiden vuoden aikana keskimäärin merivesi on **erittäin voimakkaasti saastunut öljyllä ja saastuneisuus on voimakkaasti lisääntynyt öljyvahingosta lähtöisin olevalla öljyllä**.

Tarkennukset arviointikriteereihin ja lisätiedot:

- näytteenottoalueelta saatujen tulosten vertailussa on käytettävä aiempia pitoisuustuloksia, jotka ovat peräisin mahdollisimman läheltä tutkittua aluetta (mieluiten alle 5 merimailin etäisyydellä)
- Jos edellä mainittu ei ole mahdollista, käytetään vertailukohtana merialueelle yleisesti ilmoitettuja pitoisuuksien vaihteluvälejä (Taulukko 3).

- kesäkaudella tarkoitetaan huhti-syyskuuta
- talvikaudella tarkoitetaan loka-maaliskuuta
- mineraaliöljyn alifaattisten/ aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet antavat tarpeellista lisätietoa. Näin saadaan kokonaisarviota varten mahdollisimman tarkka kuva meriveden öljyasaastumisen aiheuttamista riskeistä eliöstölle.
Kokonaisarviota varten saadut tiedot yhdistetään vaikutusmittauksissa ja populaatioselvityksissä saatuihin havaintoihin.
- mittauksen perusteella HELCOM COMBINE -protokollan perusteella saastuneiksi havaittujen näytteiden heksaaniiutteen toimitetaan muiden hiilivetyjen tarkempaan analyysiin

Esimerkki:

Kaksi koulutettua henkilöä kerää merivettä meripelastusseuran alukselta käsin Porvoon rannikkoalueella, Sondbytrasketin edustalla kesäkuussa. Alueella ei ole havaittavaa öljykalvoa. Pintaveden öljypitoisuus on 0,8 µg/l. Aiempien viiden vuoden aikana pitoisuus on samalla alueella kahden merimailin säteellä ollut keskimäärin 0,4 µg/l.

Päätelmät:

Havaittu kesäkauden pitoisuus on 0,8 µg/l. Merivesi ei ole selvästi öljyllä saastunut. Pitoisuus on $(0,8-0,4) / 0,4 * 100 \% = 100 \%$ suurempi vertailuarvoon nähden. Merivesi on todennäköisesti lievästi saastunut öljyvahingon vaikutuksesta.

4.6

Öljyn rikosoikeudellinen öljynäytteenotto ja analyysimenetelmä

Niina Viitala

Tämä kappale otetaan toiminnassa huomioon siinä tapauksessa, että ekologisten selvitysten yhteydessä on tarvetta avustaa rikosoikeudellisissa selvityksissä tai saada ao. selvitysten tuottamaa taustatietoa öljyn laadusta.

Rikostekniseen laboratorioon lähetettävät öljynäytteet ovat yleensä luonnosta otettuja öljyvahingon näytteitä ja ns. vertailunäytteitä mahdollisesta päästäjästä, esim. vesistöstä otettu näyte ja laivasta otettu pilssivesinäyte. Öljynäytteistä voidaan tunnistaa sisältävätkö ne kevyttä polttoöljyä, raskasta polttoöljyä, voiteluöljyä jne. Yksittäisen kaupallisen tuotteen tunnistaminen öljynäytteestä on vaikeaa ilman vertailunäytettä, koska valmistajat saattavat muuttaa öljyjen koostumusta kuukausittain.

Öljynäytteenotto saattaa olla työskentelyoloista johtuen vaikeaa. Edustavan näytteen saanti öljyvahinkoalueelta edellyttää yleensä erikoisvälineistöä. Jo öljyvahinkokohteeseen pääseminen, esim. vesistöalueella voi olla hankalaa vallitsevien olojen

vuoksi. Vertailunäytteen ottaminen esim. lähes tyhjästä säiliöstä tai kapeista putkistoista asettaa vaatimuksia niin näytteenottajan asiantuntemukselle kuin näytteenottovälineistöllekin.

Näytteenottovälineet tulee puhdistaa huolella tai käyttää kertakäyttövälineitä. Öljynäytteitä tulisi ottaa useita öljyvahinkoalueen eri kohdista, koska öljyn koostumus voi olla erilainen alueen keskellä ja reunoilla. Näytettä otettaessa voi olla vaikeaa estää näytteeseen tulemasta vettä ja kiintoainesta. Näytemäärä öljyn tunnistusta varten on 10 - 100 ml. Parhaiten öljy säilyy sellaisenaan umpinaisessa astiassa + 4 °C lämpötilassa valolta suojattuna. Öljynäytettä ei saa pakastaa. Suositeltavia näyteastioita ovat lasiset astiat, joiden käyttöä kuitenkin rajoittaa niiden särkyminen helposti. Mikä tahansa muoviasia ei sovellu öljynäytteille, vaan sen tulee olla HDPE-muovia, joka on kansainvälisesti testattu öljyille sopivaksi.

Edustavin näyte sisältäisi pelkästään öljyä, mutta yleensä tämä on lähes mahdollonta toteuttaa otettaessa näytteitä luonnossa. Öljynäytteen ottaminen vedenpinnalta ohuesta kalvosta on vaikeaa purkilla öljyn paetessa purkin edellä. Monesti tuloksena on purkillinen lähes pelkkää vettä. Säiliöistä on todennäköisesti paljon helpompaa ottaa vertailunäytteeksi pelkkää öljyä. Toisaalta myös etäisyys näytteenottokohteeseen, esim. laivasta mereen, hankaloittaa purkin käyttöä näytteenottovälineenä.

Parhaiten öljykalvo voidaan kerätä imeytysverkkoa hyväksi käyttäen. Verkko lasketaan siimassa tai rautalangassa veden pinnalle ja se imee itseensä vain öljyn eikä lainkaan vettä. Imeytysmateriaalina tulee käyttää ETFE-verkkoa (etyleenitetrafluoroetyleni), joka pakataan palojätepusssiin, lasiastiaan tai HDPE-muoviasiaan. ETFE-verkkoa voidaan uittaa vedessä eli kerätä öljyä veden pinnasta laajemmaltakin alueelta. Kaikki öljynäytepurkit kannattaa vielä pakata palojätepusseihin mahdollisen näyteastioiden vuotamisen vuoksi.

Öljyt tahrivat helposti näytteenottovälineet sekä näytteenottajan suojavälineet. Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota, ettei saastumista tapahdu, eli ettei öljy siirry näytteestä toiseen esimerkiksi likaantuneista välineistä.

Öljynäytteet tulisi keräämisen jälkeen mahdollisimman pian lähettää Rikostekniseen laboratorioon. Myös lähettämisessä olisi hyvä huomioida öljyn säilyvyys eli huolehtia näytteiden lämpötilasta. Öljynäytteet pakataan palojätepusseihin ja edelleen kylmälaukkuun kylmävaraajien kanssa. Erittäin käteviksi ovat osoittautuneet pehmeät kylmälaukut, jotka voi edelleen muotoilla pienempään tilaan lähetyslaatikkoon. Postitse lähetettäessä tulee huomioida Postin antamat ohjeet. Yhdessä postipaketissa saa olla öljyä korkeintaan puolen litran astioissa, siten että paketissa saa olla yhteensä korkeintaan litran verran öljyä. Näyteastiat täytetään korkeintaan $\frac{3}{4}$ tilavuuteen mahdollisen lämpölaajenemisen vuoksi. Näytteitä postitettaessa tulee myös huomioida, etteivät näytteet seiso postissa pitkiä aikoja. Olisi suositeltavaa tuoda näytteet suoraan Rikostekniseen laboratorioon.

Lähdettäessä ottamaan ympäristörikoksiin liittyviä näytteitä tulee muistaa, että ympäristöön päässeet aineet voivat olla terveydelle haitallisia tai jopa vaarallisia.

Näytteitä otettaessa tulee käyttää suojavaatetusta, kertakäyttökäsineitä ja mahdollisesti hengityssuojainta.

Rikosteknisen laboratorion käyttämä öljyanalyysimenetelmä on kansainvälisesti käytetty CEN/TR 15522-2 November 2006, Oil spill identification- Waterborne petroleum and petroleum products. Menetelmää sovelletaan luonnosta otettujen öljynäytteiden (hiilivedyt C9 - C40) ja vertailunäytteiden keskinäiseen vertailuun ja öljyn alkuperän tunnistamiseen. Öljyistä voidaan tunnistaa ovatko ne kevyttä tai raskasta polttoöljyä tai esimerkiksi voiteluöljyä. Koska menetelmä on kvalitatiivinen, ei löydösten pitoisuuksia voida ilmoittaa. Todettavien öljymäärien pitoisuuksien alarajaa voidaan kuitenkin hahmottaa toteamisrajojen perusteella. Yleisimmät löydökset öljynäytteistä ovat kaasuoöljy ja raskas polttoöljy, joille on määritetty menetelmän toteamisrajat. Kaasuöljylle saatiin toteamisrajaksi 5 ml/l ja raskaalle polttoöljylle 5 g/l.

Menetelmässä öljy uutetaan dikloorimetaanilla luonnosta otetuista maa-, vesi-, verkko- tai kasvinäytteistä. Uutos tai öljystä valmistettu laimennos analysoidaan kaasukromatografi-liekki-ionisaatiodetektorilla. Saatuja öljyvahinkonäytteen ja vertailunäytteen kromatogrammeja vertaillaan keskenään. Jos öljyvahinkonäytteen ja vertailunäytteen kromatogrammit ovat yhtenevät, jatketaan näytteiden vertailua kaasukromatografi/massaspektrometrilla. Vertailua vaikeuttaa luonnossa olleen öljyn muuntuminen edellä esitetysti.

Vertailtaessa kahta näytettä toisiinsa voidaan tunnistamisen tuloksena lausua ovatko näytteet samaa alkuperää johtopäätösasteikon mukaisesti. Asteikossa vertailutulokset on jaoteltu viiteen eri tulosityhmään (Taulukko 4).

Taulukko 4. Öljyn alkuperä-asteikko.

Tulosryhmä	Todennäköisyys	Määritelmä
1.	Erittäin todennäköisesti sama alkuperä	Vertailtavien näytteiden välillä todettiin tunnistuksen kannalta merkittäviä yhtäläisyyksiä eikä merkittäviä eroja todettu. Vertailtavien näytteiden välillä todetut erot voidaan selittää säästymisellä. Tutkimustulosten perusteella näytteillä on erittäin todennäköisesti sama alkuperä.
2.	Todennäköisesti sama alkuperä	Vertailtavien näytteiden välillä todettiin tunnistuksen kannalta yhtäläisyyksiä. Näytteissä todettiin joitakin eroja, joita ei voida selittää säästymisellä. Syynä todettuihin eroavaisuuksiin saattaa olla mm. näytteiden epätasalaatuisuus. Todennäköisyys, että näytteiden alkuperä on eri, on pieni.
3.	Ei ratkaisevia päätelmiä	Tutkimustulosten perusteella ei voida tehdä ratkaisevia päätelmiä näytteiden samankaltaisuudesta tai alkuperästä.
4.	Todennäköisesti eri alkuperä	Vertailtavien näytteiden välillä todettiin tunnistuksen kannalta merkittäviä eroja ja ainoastaan joitakin yhtäläisyyksiä. Todennäköisyys, että näytteiden alkuperä on sama, on pieni.
5.	Eri alkuperä	Vertailtavien näytteiden välillä todettiin merkittäviä eroja. Tutkimustulosten perusteella näytteillä on eri alkuperä.

Keskusrikospoliisin Rikostekninen laboratorio on akkreditoitu laboratorio ja öljyjen analysointiin käytettävät menetelmät ovat myös akkreditoituja. Rikosteknisessä laboratoriossa tehtävät öljyanalyysit tähtäävät aina öljyn tunnistamiseen ja öljyvahingon aiheuttajan löytymiseen. Rikostekninen laboratorio määrittää, mitä öljyä näytteessä on (esim. kaasuöljy, raskaspolttoöljy, raakaöljy, voiteluöljy, kasviöljy jne.). Rajavartiolaitokselle on oleellista hallinnollisen öljypäästömaksun määrittämistä varten, että kyseessä on mineraaliöljy. Analyysimenetelmällä tehdään öljynäytteiden keskinäinen vertailu, tunnistus, jolloin rikostekninen laboratorio määrittää ovatko öljynäytteet samaa alkuperää.

Rikostekninen laboratorio tekee rikos- ja onnettomuustutkintaa avustavia laboratoriotutkimuksia, joilla pyritään selvittämään tapahtumien kulku sekä tuottamaan syyllisyyttä tai syyttömyyttä tukevaa näyttöä. Rikosteknisen laboratorion asiakkaita ovat pääasiassa esitutkintaviranomaiset, mutta toisinaan myös muut viranomaiset. Rikostekninen laboratorio ei laskuta tutkimuksistaan.



Öljyntorjuntaa rannalla (Kuva: Jouko Pirttijärvi/SYKE).

Sedimentoituva aines

Harri Kankaanpää

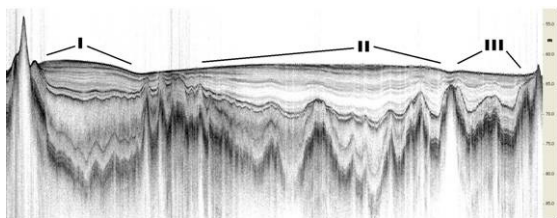
Keräyksessä on käytettävä mieluiten tutkimusalueelta asennettavia sedimenttisuppiloita, jotka ovat automaattisia (keräysintervalli ja näytteenoton kesto ovat ohjelmoitavia) ja joilla on kohtuullisen suuri (mielellään luokkaa 1 m²) keräyspinta-ala. Suppilo(t) asennetaan oloissa, joissa huomattavaa öljyn muodostamaa pintakalvoa tai -kerrosta ei havaita. Ihannetapauksessa asennus tapahtuisi niin, että seuraava Itämeren kevät- ja kesäkukinta on mahdollisimman pian alkamassa. Pohjalta tulevien hiukkasten liettymisen välttämiseksi suppilo on syytä asentaa vähintään 10 metriä pohjan yläpuolelle. Syvyys pinnasta tulee olla vähintään 10 metriä. Asennuspaikka on oltava mieluiten aktiivisen sedimentaatioaltaan yläpuolella alueella, missä vesipatsaan virtauskenttä ja laivaliikenne ovat mahdollisimman rauhalliset. Suuren aikaerottelun saavuttaminen ei ole olennaista, joten suppilossa voidaan käyttää 2-4 viikon keräysaikaa näytteenottoastiaa kohden. Tämä mahdollistaa yleensä riittävän suuren näytemäärän kemiallisiin analyysiin. Laitteiston asennuksen yhteydessä näytepulloihin laitetaan merivettä. Mikäli näytteet ovat säilyttyjä biologisia näytteitä, niistä voidaan analysoida myös planktonlajistoa (formaliinia näytteisiin ei kuitenkaan saa lisätä). Näytepullot säilytetään kylmässä tai pakastettuna näytteenoton (sedimenttisuppilon merestä nostamisen) jälkeen.

4.7.1

Sedimenttinäytteiden kerääminen

Harri Kankaanpää

Sedimenttinäytteitä kerätään öljyvahingon vaikutusalueelta sellaisilta pohjilta, joilla on näytteenoton kannalta soveltuva pohja (liejua tai liejusavea). Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen kaikuluotausesimerkki Itämeren (tässä Suomenlahden) pohjan rakennevaihtelusta. Mikäli pohjan laatu ei ole ennakoon tiedossa, se on selvitettävä käyttäen hydroakustisia laitteistoja. Sedimenttinäytteet kerätään tutkimusalueelta, joka on varustettu dynaamisella tai sitä vastaavalla ohjausjärjestelmällä. Näytteenottoapaikan on oltava alue, missä tunnetusti tapahtuu sedimentaatiota. Eroosio- tai kulkeutumispohjat eivät ole tähän selvitykseen sopivia. Pohjanlaatua koskevat tiedot ovat saatavilla suomalaisista sedimenttitutkimuksista ja niihin liittyviä tietokantoja ylläpitäviltä tahoilta. On suositeltavaa valita öljyvahingon vaikutusalueelta kohde/kohteita, missä sedimentaationopeus on mahdollisimman suuri. Näytteiden keräyksessä on syytä käyttää useita aktiivisen sedimentaation pisteitä. Näin saadaan parempi kokonaiskuva haitallisten yhdisteiden jakaumasta pehmeissä sedimenteissä.



Kuva 7. Suomenlahden merenpohjan rakenteen alueellista vaihtelua. Kuvan x-akselin suuntainen katavuus on noin 2 merimailia ja y-suunnassa syvyyttä on n. 85 metriä. Pehmeitä, näytteenottoon soveltuvia kerrostumia esiintyy etenkin sijaintien I, II ja III kohdalla. Kuvan muilla alueilla virtauskenttä / eroosio kuljettavat pohjalle vajoavaa ainesta suhteessa enemmän ao. pohja-alueiden ulkopuolelle.

On suositeltavaa selvittää öljyperäisten haitta-aineiden pitoisuuksia sedimenteissä useampana vuotena. Näytteenotto mahdollisimman pian öljyvahingon jälkeen on välttämätöntä, mutta sitä seuraava näytteenotto voi olla harvanevaa: nopean sedimentaation alueella esimerkiksi 1, 3, 6 ja 10 vuotta öljyvahingon jälkeen. Mahdollinen jatkonäytteenotto päätetään aiempien havaintojen pohjalta. Mikäli sedimentaatio-nopeus on varsin pieni, vastaavat ajankohdat (välittömän, sedimentaatiohuippua seuraavan näytteenoton jälkeen) voivat olla 2, 5 ja 12 vuotta.

Keräyksessä käytetään painovoimaisia noutimia (gravity corer), joiden näytteenot-toputken sisähalkaisija on vähintään 7 - 8 cm. Näytteenotossa noudatetaan voimassa olevaa erillisohjetta. Sedimenttikerrostuma jaetaan 0,2 - 1 cm paksuisiin osanäytteisiin. Päästöstä pohjaan vajonneiden haitta-aineiden todentaminen on olennaisinta ylimmästä kerrostumasta, joten ao. näytteen kerääminen on tehtävä erityisen huolellisesti. Yleisesti käytetään 1 cm jakoväliä, mutta 0,2 - 0,5 cm paksuinen näyte kerätään sedimenttikerrostuman pinnalta, mikäli jakolaitteistot ja tunnettu kemiallinen analyysiherkkyys mahdollistavat sen. Näin varmistetaan, että tuorein sedimentoitunut aines voidaan nähdä erillisenä ja todellinen viimeaikainen muutos erottuu aiemmasta kemiallisesta tilanteesta. Sedimenttinäytteitä kerätään riittävä määrä kaikkia analyysjä varten (yksittäisten hiilivetyjen kvantifiointi). Sedimenttinäytteiden ulkonäkö mm. hapettomuus tarkastellaan. Sedimenttinäytteistä ei mitata biologisia tai biokemiallisia vasteita. Sedimenteistä on syytä mitata myös orgaanisen aineksen kokonaismäärä (TOC), koska sillä on voimakas vaikutus hiilivetyjen kertymistehokkuuteen. Analyyseistä saatavia tuloksia verrataan myös mahdollisimman vertailukelpoisilta alueilta saatuihin taustatietoihin. Öljyperäisiä yhdisteitä havaitaan todennäköisesti myös syvemmissä kerroksissa jo ennen ns. taustapitoisuustasoa.

Vaikutusalueen lieju- tai liejusavialueilta voidaan kerätä myös kattavampi sedimenttinäytesarja jatkaen viipalointia 0,5 senttimetrin syvyydestä eteenpäin n. 5 - 40 senttimetrin syvyyteen asti. Pidempää näytesarjaa varten valittava näytteenottopaikka on mieluiten sellainen, että se on ollut mahdollisimman pitkään öljyn vaikutusalueella. Lisäksi esim. kaikuluoituksen perusteella on todettu, että näytteenottopaikalla kerrostuminen on ollut jatkuvaa (mahdollisimman paksu resentin sedimenttikerrosten pakka). Näistä pidemmistä näytesarjoista voidaan selvittää

hiilivetyjen taustapitoisuuksia ja verrata niitä pintasedimenttinäytteestä saatavaan tulokseen. Ideaalitapauksessa kerrostumien ikä määritetään käyttäen radioisotooppeihin perustuvia iänmäärittämenetelmiä. Näytteet on pakastettava välittömästi mieluiten -78 °C lämpötilaan ja analysoitava mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Näytteenotosta vastaavat toimintaan koulutetut henkilöt.

4.8

Pohjaeläinnäytteenotto

Heta Rousi

Näyteasemien kattavuuden tulee olla riittävän tiivis, jotta tutkimusalueen eri elinympäristöistä saadaan riittävä kuva, mutta vähintään niin että tutkimusalueen eri syvyysvyöhykkeet tulee katettua. Jos alueelta on elinympäristökartoitustietoa olemassa (kappale 3.9.), tulee näytteenotto kohdistaa tunnettuihin elinympäristöihin. Toimintaosion kappaleessa "Näytteenoton taajuus ja kesto" (kappale 4.4.) on kuvattu, kuinka usein näytteitä tulee ottaa öljyvahingon jälkeen. On tärkeää, että öljyvahingon jälkeistä pohjaeläintilannetta ja pohjaeläinten öljypitoisuuksia verrataan vahinkoa edeltävään tilanteeseen, jotta saadaan selville öljyn vaikutukset pohjaeläinten lajistoon ja lukumäärään. Jos tausta-aineistoa ei ole vaikutusalueelta saatavissa, voidaan vertailuun vaihtoehtoisesti määritellä referenssialue, jonka ekosysteemi on mahdollisimman samankaltainen vaikutusalueen kanssa. Taustamittaukset voidaan tehdä vielä mahdollisimman pian öljyvahingon tapahduttua, sillä öljyn sedimentoitumiseen menee aikaa jopa päivistä viikkoon (katso kappale 3.5.).

Öljyvahingon jälkeinen pohjaeläinnäytteenotto suoritetaan ensisijaisesti tarkoitukseen hyvin soveltuvilla tutkimusaluksilla, Arandalla, Louhella (erityisesti avomeren näytteenotto) tai Muikulla (erityisesti rannikon näytteenotto). Myös HYN Tvärminnen Eläintieteellisen Aseman Saduria-tutkimusvenettä, sekä mahdollisesti Meripelastusseuran PV5-veneitä voidaan käyttää pohjaeläinnäytteenotossa (katso kappaleet 4.2.1. ja 4.2.2.).

On tärkeää, että käytettävä näytteenottomenetelmä on vertailukelpoinen aikaisemman aineiston kanssa ja tämän vuoksi näytteenotossa tulee noudattaa HELCOM COMBINE -pohjaeläinnäytteenotto-ohjetta (HELCOM, Annex C-8), joka on ladattavissa internetistä sivulta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/AnnexesC/en_GB/annex8.

Näytteenotossa tulee käyttää 0.5 ja 1 mmn seuloja, jotta näytteet ovat vertailukelpoisia muiden pohjaeläinpopulaatiotutkimusten kanssa.

Pohjaeläinnäytteenotossa, säilönnässä ja analyseissä tulee ottaa myös huomioon HELCOM-ohje haitallisten aineiden vaikutusten tutkimuksesta ja seurannasta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/PartD/en_GB/main/. Esimerkkejä indikaattorilajeiksi soveltuvista lajeista on taustaosiossa kappaleessa "Vaikutustutkimuksiin soveltuvat pohjaeläimet ja niiden levinneisyys" (kappale 3.10.).

Planktiset näytteet

Heta Rousi

Öljyvahingolle altistuneiden eläin- ja kasviplanktonyhteisöjen lajikoostumusta ja yksilölukumääriä tulee verrata vahinkoalueen ulkopuolella vallitsevaan sekä vahinkoalueella ennen öljyvahinkoa vallinneeseen populaatiokoostumukseen. Ohjeet näytteenoton taajuudesta löytyvät toiminta osion kappaleesta ”Näytteenoton taajuus ja kesto” (kappale 4.4.).

Eläinplanktonnäytteet otetaan pystysuorilla vedoilla (nopeus noin 0.5 m/s), WP-2 verkolla, jonka silmäkoko on 100 µm. Näytteenotossa noudatetaan eläinplanktonnäytteenotto-ohjetta (HELCOM Annex C-7), joka löytyy internetistä sivulta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/AnnexesC/en_GB/annex7/.

Kasviplanktonnäyte on suositeltavaa ottaa 0-20 m syvyydestä vesikerroksesta plankton verkolla, jonka suositeltu silmäkoko on 10 µm tai 25 µm (jos kasviplanktonpitoisuudet vedessä ovat suuret). Näytteenotossa noudatetaan kasviplanktonnäytteenotto-ohjetta (HELCOM Annex C-6), joka löytyy internetistä osoitteesta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/AnnexesC/en_GB/annex6

Myös planktisten eliöiden näytteenotossa, säilönnässä ja analyyseissä tulee noudattaa lisäksi HELCOM-ohjeita haitallisten aineiden vaikutusten tutkimuksesta ja seurannasta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/PartD/en_GB/main/.

Muu näytteenotto eliövaikutusten tutkimukseen

Heta Rousi

Öljiyntyneiltä alueilta voidaan ottaa kasvillisuus- ja levänäytteitä talteen hiilivetyanalyysejä varten. Biologisten näytteiden otossa, säilönnässä ja analyyseissä tulee noudattaa HELCOM-ohjeita haitallisten aineiden vaikutuksen tutkimuksesta ja seurannasta http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/PartD/en_GB/main/.

Esimerkiksi WWF ja SYKEN erikoisasiantuntijat voivat tarvittaessa kerätä öljylle altistuneita lintuja. Nämä erikoisasiantuntijat mittaavat, miten paljon öljyä on lintuihin öljyvahingon aikana kertynyt. Myös lintujen tila kartoitetaan potilaskorttiin. WWF antaa tietoja omista havainnoistaan ja mittauksistaan koskien öljyn ekosysteemivaiikutuksia (erityisesti lintujen ja hylkeiden osalta). ÖVA-vastuuhenkilön tulisi olla yhteydessä WWF:n yhdyshenkilöön (yhteystiedot liitteessä 1), näiden tietojen saamiseksi. WWF myös raportoi itse havaintonsa koskien öljyonnettomuuden ekosysteemivaiikutuksia lintujen osalta. Muu tiedottaminen tapahtuu SYKEN kautta.

Kalanäytteiden kerääminen

Ulla Luhtasela, Pekka J. Vuorinen

Evira vastaa elintarvikkeina käytettävien kalalajien tutkimuksista niiden elintarvikekelpoisuuden selvittämiseksi. RKTL toimittaa näytteet Eviraan sen antamien ohjeiden mukaisesti ja samalla ottaa näytteitä omia tutkimuksiaan varten. Lisäksi Evira järjestää tarvittaessa erikseen alueen kalanviljelylaitoksia koskevan näytteenoton kunnallisten elintarvikeviranomaisten avustuksella.

Jotta öljyvahinkotilanteessa kaloista todettuja PAH- tai raskasmetallipitoisuuksia voitaisiin verrata lainsäädäntöön ja kartoittaa tilannetta alueellisesti, näytteet tulee ottaa EU-komission asetuksen 333/2007 (ja sen muutoksen 836/2011) mukaisesti.

Periaatteena näytteenotossa on useamman perusnäytteen yhdistäminen kokoomanäytteeksi (ts. ”poolattu” näyte). Perusnäytteitä ovat yksilöt, joita kerätään vähintään kolme kappaletta yhteen kokoomanäytteeseen niin, että näyte painaa vähintään yhden kilogramman. Mikäli tutkitaan suurikokoisia kaloja, voidaan perusnäytteet ottaa kalojen keskiosista, jolloin perusnäytteen tulee painaa vähintään 100 grammaa ja kokoomanäytteen koko tulee olla vähintään 1 kilogramma. Näytteenottoasetuksessa on annettu myös erityisiä ohjeita näytteiden käsittelyyn näytteenotossa ja analysoinnissa.

Otettaessa näytteitä PAH-analyysia varten näytteet on suojattava valolta ja mahdollisuuksien mukaan on vältettävä muoviasioiden (erityisesti mustien roskasäkki-en) käyttöä, sillä ne voivat muuttaa näytteiden PAH-pitoisuutta.

Näytteitä voidaan kerätä myös aistinvaraisiin tutkimuksiin, joissa arvioidaan kalan kauppakelpoisuutta sen ulkonäön, rakenteen sekä hajun ja maun perusteella. Aistinvaraiset tutkimukset täydentävät hyvin kemiallisten analyysien tuottamaa informaatiota kalojen elintarvikekelpoisuuden arvioinnissa ja vähentävät kemiallisten analyysien tarvetta. Näytteenotossa erityisen tärkeää on näytteen säilyttäminen niin, ettei kalan laatu heikkene ennen aistinvaraista analysointia. Lisäksi näytekoon tulee olla riittävä (vähintään 2 kg, joka muodostuu vähintään kolmesta kokonaisesta yksilöstä) sillä näytteet tutkitaan niin raakana kuin kypsennettynäkin.

4.11.1

Käytännön ohjeet kalojen kemiallisten analyysien näytteenottoon

Ulla Luhtasela, Pekka J. Vuorinen

Pyydystetään saastuneeksi epäiltyä aluetta kaloja, joista muodostetaan näytteitä seuraavien ohjeiden mukaisesti:

1. Yhteen kokoomanäytteeseen kerätään saman lajin samankokoisia kaloja eli perusnäytteitä) noin 1 kilogramma, kuitenkin vähintään kolme kalaa/näyte

2. Näytekalat mitataan, punnitaan, määritetään sukupuoli ja otetaan sopiva lajikohtainen luutuma (esim. suomu) iänmäärittystä varten pieneen paperipussiin, johon kirjataan riittävät yksilöintitiedot.
3. Mikäli kalat ovat suurikokoisia, voidaan kaloista ottaa keskiosat ja muodostaa näistä yksi yhden kilogramman painoinen kokoomanäyte
4. Kaikki yhteen kokoomanäytteeseen kuuluvat perusnäytteet pakataan yhteen folioon tai paperipussiin. Folio tai paperipussi laitetaan muovipussiin yhdessä näytteenottotodistuksen kanssa. Muovipussien tulee olla elintarvikekel-poista muovia.
5. Näytteenottotodistukseen tulee kirjata huolellisesti
 - a. näytteenottoaika
 - b. näytteenottoaika
 - c. laji (suomeksi ja latinaksi jos mahdollista)
 - d. näytteen sisältämien yksilöiden lukumäärä
 - e. yksilöiden painot ja pituudet
 - f. tiedot näytteenottajasta
 - g. näytteen ikä- ja sukupuoli tulee määrittää.
6. Näytteet tulee säilyttää kylmässä (0-3 °C asteessa) kunnes ne lähetetään laboratorioon. Mikäli näytteiden toimitus laboratorioon kestää yli 48 h, näytteet pakastetaan ja säilytetään -20 °C:ssa. Näytteet tulee lähettää laboratorioon niin että ne pysyvät kylmässä kuljetuksen ajan.
7. Näytteet lähetetään tutkittavaksi ennalta sovittuun laboratorioon (Evira, Tulli-laboratorio tai MTT).

4.11.2

Käytännön ohjeet kalojen aistinvaraisen analyysin näytteenottoon

Ulla Luhtasela, Pekka J. Vuorinen

Pyydystetään saastuneeksi epäillyltä alueelta kaloja, joista muodostetaan näytteitä seuraavien ohjeiden mukaisesti:

1. Yhteen kokoomanäytteeseen kerätään vähintään kolme kokonaista saman lajin kalaa/näyte.
2. Näytekalat mitataan, punnitaan, määritetään sukupuoli ja otetaan sopiva lajikohtainen luutuma (esim. suomu) iänmäärittystä varten pieneen paperipussiin, johon kirjataan riittävät yksilöintitiedot.
3. Näytteen koko on oltava vähintään 2 kg. Jos kolmesta kokonaisesta kalasta muodostettu näyte on pienempi kuin 2 kg, otetaan yhteen näytteeseen useampia yksilöitä.
4. Kaikki yhteen kokoomanäytteeseen kuuluvat yksilöt pakataan styrox-laattikoon ja säilytetään jäädytettynä (laatikko pakattu täyteen jäähilettä, johon kalat upotetaan).

5. Jos näytteiden pakkaaminen ja säilyttäminen jäädytettynä, ei ole mahdollista, pakataan näytteet muovipusseihin tai folioon. Muovipusseihin tai folioon pakatut kalanäytteet laitetaan edelleen muovipussiin yhdessä näytteenottotodistuksen kanssa. Muovipussien ja folion tulee olla elintarvikekelpoista, eikä niistä saa lähteä hajua tai makua tutkittaviin näytteisiin.
6. Näytteenottotodistukseen tulee kirjata huolellisesti
 - a. näytteenottoaika
 - b. näytteenottoaika
 - c. laji (suomeksi ja latinaksi jos mahdollista)
 - d. näytteen sisältämien yksilöiden lukumäärä
 - e. yksilöiden painot ja pituudet
 - f. tiedot näytteenottajasta
7. Näytteet tulee säilyttää kylmässä (0-3 °C asteessa) kunnes ne lähetetään laboratorioon. Mikäli näytteiden toimitus laboratorioon kestää yli 48 h näytteenotosta, näytteet pakastetaan ja säilytetään -20 °C:ssa. Näytteet tulee lähettää laboratorioon siten, että ne pysyvät kylmässä koko kuljetuksen ajan. Pakastetut näytteet tulee kuljettaa siten, etteivät ne pääse sulamaan kuljetuksen aikana. Näytteiden kuljetuslämpötilaa tulisi seurata esim. lämpötilaloggerilla.
8. Näytteet lähetetään tutkittavaksi Eviraan.

4.12

Kalojen käytettävyys elintarvikkeena

Ulla Luhtasela

Aistinvarainen laatu

Aistinvaraisessa analyysissä tutkitaan kalan ulkonäköä, rakennetta sekä hajua ja makua. Arvioinnissa kalat pisteytetään määrittämällä jokaisen ominaisuuden poikkeaman suuruus verrattuna virheettömään kalaan seuraavan asteikon mukaisesti:

Pisteet:

- 5 erittäin hyvä verrattuna virheettömään kalaan
- 4 hyvä verrattuna virheettömään kalaan
- 3 tyydyttävä verrattuna virheettömään kalaan (lieviä virheitä)
- 2 huono verrattuna virheettömään kalaan (selviä virheitä)
- 1 erittäin huono verrattuna virheettömään kalaan (voimakkaita virheitä)
- (0 ei kelpaa ihmisravinnoksi)

Mikäli kalojen aistinvarainen laatu on heikentynyt merkittävästi (esimerkiksi öljyvahingosta johtuen), se ei sovellu elintarvikkeeksi. Arviointiasteikolla pisteet 2-0

voidaan katsoa indikoivan kalan laadun merkittävää heikentymistä. Sellaisen kalan käyttö raaka-aineena tai elintarvikkeena voidaan kieltää EYn yleisen elintarvikeasetuksen (EY) N:o 178/2004 14 artiklan nojalla.

Vierasaineet

Aina kemiallisia vaaroja ei voida havaita aistinvaraisesti, jolloin kemiallisten tutkimusten tärkeys korostuu. Öljyn sisältämistä haitallisista aineista PAH-yhdisteet ovat tärkein yhdisteryhmä, joka vaikuttaa elintarvikkeen käytettävyyteen. Lisäksi raskasmetallien kuten elohopea, lyijy, kadmium ja arseeni kertyminen kaloihin saattavat rajoittaa niiden käyttöä elintarvikkeena. Sallittu enimmäismäärä kalan lihalle on asetettu EU-komission vierasaineasetuksessa (EY) N:o 1881/2006 ja sen muutoksissa: 0,5 mg/kg (Hg), 0,3 mg/kg (Pb) ja 0,05 mg/kg (Cd). Arseenille ei ole asetettu sallittua enimmäismäärää.

PAH-yhdisteistä ainoastaan bentso(a)pyreenille (B(a)P) on asetettu sallittu enimmäismäärä (2 µg/kg) EU-komission vierasaineasetuksessa (EY) nro. 1881/2006 tuoreelle kalalle. Asetuksen muutoksessa (835/2011) on kuitenkin todettu, että PAH-yhdisteet metaboloituvat nopeasti kalassa eivätkä kerry kalan lihaan. Sen vuoksi asetuksessa ei ole katsottu tarpeelliseksi pitää voimassa PAH-yhdisteiden enimmäismäärää tuoreessa kalassa. Kalojen elintarvikekelpoisuutta arvioitaessa voidaan kuitenkin soveltaa B(a)P:lle 2 µg/kg enimmäismäärää indikaattorina öljyperäisestä saastumisesta. Öljyvahinkotilanteessa on tärkeää tutkia myös muut PAH-yhdisteet kuin B(a)P ja kaikkien PAH-yhdisteiden pitoisuudet tulee ottaa huomioon kalojen elintarvikekelpoisuutta arvioitaessa.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä (2008/106/EY) koskien vesipolitiikan alan prioriteettiaineita on annettu ympäristölaatumormit myös eliöstölle. Sen mukaan sallittu enimmäispitoisuus bentso(a)pyreenille, bentso(b)fluoranteenille, bentso(k)fluoranteenille, bentso(g,h,i)peryleenille ja indeno(1,2,3-cd)pyreenille kalassa on 2 µg/kg.

Mikäli PAH-yhdisteitä löydetään kalastustuotteista tällaisina pitoisuuksina, on syytä epäillä, että ne ovat saastuneet öljyllä, sillä kalojen PAH-pitoisuudet eivät normaaliolosuhteissa ole näin suuria. Koska kaikkia öljyn sisältämiä haitallisia aineita ei voida tutkia, voidaan päätellä, että PAH-pitoisuuksien kasvaminen samaan suuruusluokkaan savustettujen tuotteiden kanssa on osoitus öljyasaastumisesta ja elintarvike ei sovellu ihmisravinnoksi.

Elintarvikelain 23/2006 mukaan ensisijainen vastuu elintarvikkeen turvallisuudesta on elintarvikealan toimijalla. Toimijan tulee omavalvonnassaan varmistaa, että tuote on turvallinen kuluttajalle esim. varmistamalla asia kemiallisilla tutkimuksilla. Toimijalla on myös velvollisuus varmistua siitä, ettei hänen myymänsä, jalostamansa tai eteenpäin toimittamansa kalastustuotteet ole peräisin öljyvahinkoalueelta. Viranomaisten tekemä pistokoevalvonta ja kalastusrajoitukset eivät poista toimijan omaa vastuuta tuotteiden turvallisuuden varmistamisesta.

Molekyyli- ja solutason vasteet

Kari Lehtonen

Öljyssä esiintyvät hiilivety-yhdisteet ovat niin monimuotoisia, että niiden aiheuttamat molekyyli- ja solutason vaikutukset ovat hyvin vaihtelevia riippuen yhdisteiden rakenteesta. On kuitenkin tärkeä ymmärtää, että kyse on useimmiten ns. summa-vaikutuksesta, joissa yksittäisten yhdisteiden vaikutusten erittely on useimmiten erittäin vaikeaa.

Seuraavia molekyyli- ja solutason vasteita on käytetty seurattaessa mm. viime aikojen suurimpien öljyvahinkojen (*Exxon Valdez*, *Erika* ja *Prestige*) biologisia vaikutuksia eliöstöön. Niitä on viime vuosina testattu runsaasti myös Itämeren eliöstössä haitallisten aineiden vaikutusten todentamisessa ja paikallisten vertailutasojen määrittämiseksi.

Vierasainemetabolian (detoksifikaatio) kiihtyminen

Altistuminen useille orgaanisille haittayhdisteille, mukaan lukien PAH-yhdisteet, aiheuttaa eliöissä sytokromi-P₄₅₀-systeemin kohonneen aktiivisuuden. Tämä entsyymikompleksi vastaa yhdisteiden ensimmäisen vaiheen biomuuntumisesta ja johtaa metaboliatuotteiden ja happiradikaalien syntyyn. Tätä biomarkkeria on ympäristöseurannassa mitattu jo 1970-luvulta asti 7-etoksiresorufiini-O-deetylaasientsyymin (EROD) avulla. EROD-aktiivisuus mitataan kaloista syväjäädetyistä maksanäytteistä. EROD-määryksiä tekevät ainakin RKTL ja SYKE.

Genotoksisuus (perimämyrkyllisyys)

Eräs herkimmistä altistumisen biomarkkereista on mikrotumien tiheyden kasvaminen soluissa; tämä ilmentää genotoksisia vaikutuksia. Meriympäristössä PAH-yhdisteiden on todettu aiheuttavan mikrotumien määrän kasvamista. Mikrotumien esiintymistiheys määritetään mikroskopoimalla ja se voidaan tehdä useiden eliöiden (tässä tapauksessa esimerkiksi kalat ja simpukat) erilaisista solutyypeistä (esimerkiksi maksa-, veri-, kidus- ja munuaissolut). Suomessa määryksiä tehdään tällä hetkellä ainoastaan sairaaloissa, mutta menetelmä on helposti otettavissa käyttöön. Mikrotumien ohella samoista näytteistä on määritettävissä muita genotoksisuuden indikaattoreita. Menetelmä ei vaadi näytteiden kylmäsäilytystä. Menetelmää on ehdotettu HELCOM CORESET -projektin kautta biologisten vaikutusten seurantaparametriksi Itämeressä.

Oksidatiivinen stressi

Vierasainehajotus johtaa aina lisääntyneeseen määrään happiradikaaleja soluissa. Näiden neutraloimiseksi solujen antioksidanttipuolustus indusoituu ja tämä heijastuu mm. suurentuneina ns. oksidatiivisen stressin biomarkkerientsyymien aktiivisuuksina. Käytössä oleviin menetelmiin kuuluvat mm. katalaasi-, glutathionireduktaasi-, superoksidismutaasi-, glutathioniperoksidaasi- ja glutathioni-S-transferaasientsyymien määrittäminen. Näistä viimeksi mainittu liittyy myös aktivoituneeseen detoksifikaatioon. Lisäksi antioksidanttipuolustuksen heikentymistä heijastavaa lipidiperoksidation määrää voidaan käyttää biomarkkereina. Suomessa näitä määrittämiä merieliöstöstä ovat tehneet ainakin SYKE, RKTL ja Turun yliopiston eläinfysiologian laitos.

5 Vesiympäristön kemiallisen ja ekologisen tilan arviointi

Ulla Luhtasela

Vesipolitiikan puitedirektiivin päivitysehdotukseen on kirjattuna ympäristölaatu-normit eräille PAH-yhdisteille:

Simpukoiden tiedetään keräävän PAH-yhdisteitä tehokkaasti vedestä eikä niillä ole kykyä metaboloida näitä yhdisteitä. Pohjaeläimiä syövät kalat kuten kampela ja linnut kuten haahka saattavat simpukoita syödessään saastua ajan kanssa PAH-yhdisteillä. Viranomaistutkimuksilla pyritään kartoittamaan, millä alueilla pitoisuudet kaloissa tai muissa kalastustuotteissa voivat kasvaa niin suuriksi, että kalastusta näillä alueilla tulee rajoittaa. (SCF 2002).

5.1

Kemialliset analyysit

5.1.1

PAH-yhdisteiden ja alifaattisten hiilivetyjen analyysi

Harri Kankaanpää

Hiilivetyjen analyysit tehdään laboratorioille toimitetuista näytteistä mahdollisimman nopeasti. Näytteiden säilytyksestä vastaavat asianomaiset laboratoriot. Laboratorioanalyysiin tarvittava näytemäärä (yksilömäärä, kudosmäärä tai kokonaismassa) on selvitettävä etukäteen analyysejä tekevistä laboratorioista. Nämä lähtötiedot on varmistettava ennen kenttätutkimusten alkua ja huomioitava näytteenotossa.

PAH-yhdisteiden ja alifaattisten hiilivetyjen pitoisuuksia määritetään erityisesti kiinteistä näytteistä, ja jos mahdollista myös valikoiduista merivesiuutteista. Tulosten perusteella arvioidaan ensinnäkin, missä määrin eri myrkyllisyysasteen omaavia PAH-yhdisteitä esiintyy näytteissä. Tulokset suhteutetaan jatkossa vaikutustutkimuksissa todettuihin vasteisiin.

7-40 hiiltä sisältävien alifaattisten hiilivetyjen pitoisuudet määritetään mahdollisuuksien mukaan kaikista näytetyypeistä. Tulosten pohjalta selvitetään, missä määrin erityisesti öljyvahinkoon liittyvän öljyn alifaattisia hiilivetyjä on siirtynyt analysoitavaan näytteeseen. Näitä tuloksia voidaan tarkastella myös rikosteknisessä tutkimuksessa havaittuja hiilivetyjakaumia ja pitoisuuksia vasten.

Aiemmin kuvattujen kemiallisten analyysien tekeminen jaetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti esimerkiksi alla olevassa taulukossa 5 kuvatulla tavalla:

Taulukko 5. Yhteenveto vaikutustutkimuksissa käytettävistä matriiseista, parametreista ja menetelmistä. ¹ Evira tekee myös kalojen aistinvaraisen pilaantumisen selvitykset. Laboratorioiden yhteystiedot löytyvät liitteestä I (perustuen tietoon 31.3.2012).

Kohde	Parametrit	Menetelmä	Tekijä
merivesi	kokonaisöljypitoisuus	fluorometria	SYKE MK
merivesi	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta
eläin- ja kasviplankton	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta
sedimentoituva aines (seston)	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta
pohjaeliöt	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta (esim. MetropoliLab)
sedimentit	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta
litoraalikasvit	alifaattiset hiilivedyt ja PAH	kaasu- ja/tai nestekromatografia	SYKE LAB tai alihankinta
elintarvikekalat	PAH ja raskasmetallit ¹	kaasu- ja/tai nestekromatografia, ICP/AAS -tekniikka	Evira tai alihankinta

6 Kokonaisvaikutusarvion laadinta

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Haitallisen aineen kokonaisvaikutusten selvittämiseksi on tarkasteltava, miten öljyvahinkoa mittaavat osatekijät, kuten biomarkkerit, populaatioiden muutos, tai yhdisteiden pitoisuus pitää huomioida, jotta saadaan kokonaiskäsitys öljyvahingon vakavuudesta.

Ensisijaisesti öljyn vaikutuksen kokonaisarvion laadinnassa on syytä käyttää öljyvahinkoa seuraavia populaatiomuutoksia, joiden yhteys öljyvahinkoon voidaan osoittaa. Populaatiomuutoksen voi mitata esimerkiksi koko populaatiossa tapahtuneina yksilömäärien muutoksina, populaation ikäjakaumien muutoksina tai muutoksina jälkeläisten lukumäärissä (myös esim. munatuotannossa). Tällöin on otettava huomioon eri kohdepopulaatiot. Muutosten vakavuus eri eliöihin on arvioitava ja eri tutkimusten jälkeen on syytä tehdä kokonaisarvio öljyvahingon vaikutusten vakavuudesta ekosysteemissä. Tätä varten voidaan luoda indeksi, eli vakavuusasteikko.

Kansainvälisesti on käytetty muun muassa biomarkkereita haitallisten aineiden kokonaisvaikutusarvion tekemisessä. Laboratoriokokein voidaan selvittää eri yhdisteiden, kuten öljyhiilivetyjen, eri pitoisuuksien aiheuttamia vaikutuksia eliöissä (Peakkall 1994, <http://www.springerlink.com/content/m0223417n37v2989/fulltext.pdf>).

Kokonaisvaikutusarvio tehdään vuosittain niin kauan kuin öljyvahingon jälki-seuranta kestää. Kokonaisarviossa käytetään em. ajatusmallin mukaista, erilaisten parametrien painotettuun yhdistämiseen perustuvaa laskentamallia, esimerkiksi:

$$K = \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^n P_i p_i n^{-1} + \sum_{j=1}^m V_j v_j m^{-1} + \sum_{k=1}^o C_k c_k o^{-1} \right)$$

jossa K = vaikutuksen voimakkuutta kuvaava indeksi (saa arvot 0-1; 0 = vaikutuksia ei ole, 1 = vaikutukset ovat huomattavia)

n = populaatiovaikutuksessa käytettävien tapausten määrä

P_i = populaation i muutos portaattomalla asteikolla 0-1
(0 = ei muutosta; 1 = vakava muutos)

p_i = kunkin populaatiomuutoksen painotuskerroin (0-1) kokonaisarviossa

m = biologisten vasteparametrien lukumäärä

V_j = biologisen vasteen suuruus portaattomalla asteikolla 0-1
(0 = ei muutosta; 1 = vakava muutos)

v_j = kunkin biologisen vasteen painotuskerroin (0-1) kokonaisarviossa

o = relevanttien kemiallisten yhdisteiden (kuten myrkyllisimmät PAH-yhdisteet) lukumäärä arviossa

C_k = relevanttien kemiallisten yhdisteiden pitoisuusasteikolla 0-1
(0 = ei havaittu 1 = raja-arvot huomattavasti ylittävä pitoisuus)

c_k = relevanttien kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksien painotuskerroin (0-1) kokonaisarviossa

7 Raportointi ja tiedotus

Harri Kankaanpää, Ulla Luhtasela

ÖVA-ryhmän jäsenet toimittavat saamansa tulokset ja johtopäätökset vastuutaholle (SYKE). Loppuraportoinnin lisäksi tarvitaan myös väliaikatiedottamista eri osa-alueilla. Esimerkiksi Evira tiedottaa kalojen elintarvikekäyttöön liittyvistä rajoituksista yms. suoraan kuluttajille omien verkostojensa avulla. Eviran tiedotus tapahtuu reaaliaikaisesti.

SYKE vastaa siitä, että:

- öljyvahinkoon ja vaikutusseurantaan liittyvä tiedottaminen toteutetaan
- kaikkien tulosten pohjalta tehdään yhteenvetoraportti, jossa kuvataan öljyvahingon taustat ja havaitut seuraukset valitulla aikajänteellä
- raportti tulee avoimeen jakeluun vähintään sähköisenä versiona
- raportti tuotetaan BORIS-karttakäyttöliitymään
- saatujen havaintojen perusteella toimitetaan tiedonvälityksestä vastaaville tahoille selkeää tietoa öljyvahingon seurannaisvaikutuksista.

7.1

RASFF - Euroopan nopea hälytysjärjestelmä

Ulla Luhtasela

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira toimii EUn RASFF-hälytysjärjestelmän (Rapid Alert System for Food and Feed) Suomen yhteyspisteenä. Järjestelmässä ovat mukana EU- komissio (DG SANCO), Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA ja jäsenvaltiot. Jäsenvaltiot ilmoittavat löytämistään terveydelle haitallisista elintarvike- ja rehueristä komissiolle, joka käsittelee asian ja lähettää ilmoituksen edelleen kaikille jäsenvaltioille tiedoksi ja toimenpiteitä varten. Hälytysjärjestelmän kautta voidaan tiedottaa nopeasti öljyvahingon aiheuttamista vaikutuksista elintarvikkeisiin, jos tutkimustulokset osoittavat sen tarpeelliseksi.

8 Kustannusten kattaminen

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Yleisenä periaatteena on, että öljyvahingon tapahduttua ÖVA-toiminnasta aiheutuvat välittömät kustannukset maksetaan aluksi SYKEN määrärahoista. Apuna käytetään tarvittaessa kansainvälisiä rahastoja. Kustannuksiin kuuluvat kaikkien toiminnassa mukana olleiden tahojen kulut sekä toimintaan liittyvä alihankinta kuten laboratoriopalvelut (Taulukot 6 ja 7). Suomen valtio laskuttaa, mahdollisten oikeusprosessien jälkeen, kaikista aiheutuneista menoeristä viime kädessä öljyvahingon aiheuttajaa. Torjuntatoimet laukaiseva öljyvahinko laukaisee myös tutkimustoimet, ja saastuttajalla on näin ollen velvollisuus maksaa myös vaikutustutkimukset. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) tarvitsee vaikutustutkimuksia koskevan suunnitelman päättäessään rahoituksesta. Siksi heille on tehtävä tutkimussuunnitelma mahdollisimman pian ÖVA-toiminnan alkuvaiheessa.

Alustoiminnan kustannukset on arvioitu niin, että kahta ensimmäistä öljytutkimusta varten on järjestettävä erilliset tutkimusmatkat suomalaisella tutkimusaluksella. Näiden yhteenlaskettu kesto on arvioitu kahdeksi viikoksi täysipäiväistä kenttätöitä. Näiden lisäksi ensimmäisenä vuonna näytteitä on kerättävä lisäksi 5-10 muuna ajankohtana. Toisena vuonna ja sen jälkeen vuosittainen näytteenotto- ja analyysitoiminta vähenee noin 20 %:ksi lähtötilanteeseen verrattuna.

Viimeistään öljyvahinkoa seuraavasta toisesta vuodesta alkaen on pyrittävä siihen, että öljytutkimukset sisällytetään muutoin toteutuvien tutkimusmatkojen (kuten vuosittaisten HELCOM COMBINE -seurantamatkojen) ohjelmaan, ja näin näytteenotosta aiheutuvat kustannukset vähenevät huomattavasti (ao. matkojen osalta n. 1-2 lisävuorokauteen tutkimusaluksella per tutkimusmatka).

Suurimman menoerän alusten käytön lisäksi aiheuttaa kemiallisten analyysien tekeminen sedimentti-, vesi- ja eliönäytteille. Kemiallisten analyysien osalta voidaan käyttää tutkimuslaitosten omia laboratorioita tai alihankkijoita kuten esimerkiksi Metropolilab. Vuoden 2012 hintatasolla PAH-analyysit maksavat MetropoliLab-yrityksen kautta tilattuina (alv 0 €) vesinäytteille 120 €/näyte, sedimenttinäytteille 90 €/näyte ja biologisille näytteille n. 200 € / näyte. Eviron laboratorioissa elintarvikekalojen

PAH-analyysi maksaa 443,42 €/näyte (alv 82,92 €) ulkopuolelta tilattuna, mutta jos työ tehdään osana Eviran omaa kartoitusta, ei siitä aiheudu ÖVA-työssä lisäkustannuksia. Eviran mittaukset koskevat elintarvikekaloja.

Ensimmäisen toimintavuoden jälkeen vuosittaiset öljyvahingon seurannan kokonaiskustannukset ovat arviolta noin 20 % ensimmäisen 12 kuukauden kustannuksista (katso myös kappaleet 4.3 ja 4.4.). Jos seurannat jatkuisivat vielä noin viiden vuoden ajan, voisivat kokonaiskustannukset tällä toimintajaksolla nousta maksimissaan n. 700 000 €:ksi, taulukossa esitetyn mukaisesti.

Aluskustannukset perustuvat lähtökohtaan, että yksi laivavuorokausi maksaa noin 20 000 €. Öljyvahinkovuonna SYKEN tekemien kemiallisten PAH-analyysien kustannuslaskelmat perustuvat siihen, että näytteitä otetaan noin 10 asemalta vahingon vaikutusalueelta ja että tutkimusmatkoja tehdään noin 10/vuosi, jolloin vuodessa otettaisiin 100 simpukkakokoomanäytettä. SYKEN tekemät biokemialliset analyysit perustuvat siihen, että näytteitä otettaisiin noin 300 asemalta / vuosi (kolme replikaattia kultakin asemalta, jolloin kokonaisanalyysimäärä olisi noin 900 ja hinta/näyte n. 100 €). Seurantatutkimusvuosien vuosittaiset aluskustannukset perustuvat siihen, että näytteenotto sisällytettäisiin vuosittaisiin tutkimusmatkoihin, joihin tulisi arviolta neljä lisäpäivää vuodessa. Muut seurantavuosien vuosikustannukset perustuvat siihen, että tutkimusten määrä on noin 20 % öljyvahinkovuoden tutkimuksista.



Monitoimialus Louhi (Kuva: Jukka Pajala/SYKE).

Taulukko 6. Suuntaa antava arvio ÖVA-toiminnasta aiheutuvista kustannuksista öljyvahinkoa seuraavan 12 kuukauden aikana. Ei sisällä RKTLn altistuskokeita ja biokemiallisia määrittelyksiä. Kustannukset on arvioitu vuoden 2012 kustannustasolla.

Kustannuslaji	Tutkimuskustannukset (€) tapahtumavuonna
Valmiusryhmän kokoonpano ja toiminta	ei lisäkuluja, paitsi mahdolliset ylityöt
Näytteenotto kaluston hankinta ja ylläpito	n. 5 000
Tutkimusalusten Aranda ja Muikku käyttö (yhteensä n. kaksi viikkoa +)	n. 280 000
Louhi-monitoimialuksen käyttö (2-3 vrk)	maks. 50 000
Ulkopuolisten alusten käytön lisäkulut (polttoaine ym.)	maks. 20 000
SYKEN tekemä näytteenotto (henkilöstön päivärahoista aiheutuvat lisäkulut)	n. 4 000
Pohjaeläinten laskenta (ylityöt)	n. 10 000
Meriveden HELCOM-öljyanalyysit	n. 1 000
Raporttien tuotanto	n. 5 000
Tiedotus	ei lisäkuluja, paitsi mahdolliset ylityöt
Ylityöt YMn alaisissa laitoksissa	n. 10 000
Muiden kuin ympäristöhallinnon toiminta	maks. 10 000
Kemialliset analyysit (PAH)	maks. 25 000
SYKEN tekemät biokemialliset analyysit	n. 100 000
ÖVA-ryhmän tekemät muut biologisten vasteiden mittaukset	n. 50 000
Yhteensä	maks. 570 000

Taulukko 7. Suuntaa antava arvio ÖVA-toiminnasta aiheutuvista kustannuksista/vuosi seurantavuosina 2-6 (yli 12 kk vahingosta). Ei sisällä RKTLn altistuskokeita ja biokemiallisia määrittelyksiä. Kustannukset on arvioitu vuoden 2012 kustannustasolla.

Kustannuslaji	Tutkimuskustannukset (€) tapahtumavuonna
Valmiusryhmän kokoonpano ja toiminta	ei lisäkuluja, paitsi mahdolliset ylityöt
Kaluston hankinta ja ylläpito	n. 1 000
Tutkimusalusten Aranda ja Muikku käyttö (2 x 2 lisäpäivää laiva-aikaa per vuosi)	n. 80 000
Louhi-monitoimialuksen käyttö	n. 10 000
Ulkopuolisten alusten käytön lisäkulut	maks. 4 000
SYKEN tekemä näytteenotto (henkilöstökulut)	maks. 8 00
Meriveden HELCOM-öljyanalyysit	maks. 2 00
Raporttien tuotanto	maks. 1 000
Tiedotus	ei lisäkuluja, paitsi mahdolliset ylityöt
Ylityöt YMn alaisissa laitoksissa	maks. 2 000
Muiden kuin ympäristöhallinnon toiminta	maks. 2 000
Kemialliset analyysit (PAH)	maks. 5 000
SYKEN tekemät biokemialliset analyysit	n. 20 000
ÖVA-ryhmän tekemät muut biologisten vasteiden mittaukset	n. 10 000
Yhteensä	maks. 135 000

OSA C

9 Tarpeet lisäselvityksille

Harri Kankaanpää, Heta Rousi

Tausta-arvojen mittaaminen on ennen öljyvahinkoa vallitsevan lähtötilanteen selvittämiseksi tarpeellista. Taustapitoisuustietoja on saatavissa ainoastaan avomeren pintaveden kokonaisöljystä (seurantatietoa ei ole rannikkoalueita). Muiden ÖVA-toimintaan liittyvien väliaineiden ja parametrien (kuten eliöiden terveydentilaa kuvaavat biologiset vasteet) osalta ei ole riittävää tietoa miltään alueelta.

Taustaselvityksissä hyödynnetään ta. Muikun vuosittaista rannikkoseurantamatkaa sekä mta. Arandan 2-3 kertaa vuodessa tehtäviä HELCOM-COMBINE -seurantamatkoja. Näillä matkoilla kerätään taustaselvityksessä tarvittavia näytteitä ja analysoidaan kokonaisöljypitoisuuksia. Muut analyysit tehdään maissa.

9.1

Valikoitujen eliöiden öljyhiilivetyjen ja biologisten vasteiden perustasojen analyysit vuonna 2013 tai 2014

Eliönäytteet Suomen merialueilta kerätään SYKEN järjestämien, vuosittaisten seurantojen yhteydessä (Aranda ja Muikku) muiden biomateriaalien, paitsi kalojen osalta (näiden perustasomittaukset sovitaan RKTLn ja Eviran kanssa). Näytteiden kemialliset analyysit tehdään SYKEN tai MetropoliLabin laboratorioissa. Eliöiden (pääasiassa *Mytilus trossulus* ja *Macoma balthica*) biologisten vasteiden taustataso selvitetään SYKEN merikeskuksessa.



SYKE:n tutkimusalus Aranda takaapäin kuvattuna (Kuva: Jan-Erik Bruun/SYKE).

9.2

Rannikon meriveden taustapitoisuudet

HELCOM COMBINE -seurannan piiriin eivät kuulu rannikkovedet. Mittauskampanjaa varten kerätään näytteitä Suomenlahdelta ta. Muikun vuosittaisilla tutkimusmatkoilla. Muilla merialueilla näytteet kerätään mta. Arandalta käsin alueilla, joiden syvyys on riittävä. Muutoin käytetään apuna Rajavartiolaitoksen ja/tai Meripelastusseuran aluksia. Arandalta voidaan samassa yhteydessä ottaa normaalia useampia vesinäytteitä avomerialueelta.

Arandan osalta kokonaisöljypitoisuuksien analyysit tehdään välittömästi aluksella. Muilta aluksilta kerätyt näytteet analysoidaan joko Arandan laboratoriossa tai SYKE:n merikeskuksen laboratoriossa.

9.3

Arvio kustannuksista

Taulukossa 8 on esitetty taustamittauskampanjoista aiheutuvat kustannukset. PAH-analyysien kustannukset merivedelle, eliöille ja sedimenttinäytteille perustuvat oletukseen, että taustamittauksissa otettaisiin 20 vesinäytettä (20 aluetta) ja 30 eliönäytettä.

tä (30 aluetta) kustakin tutkittavasta eliöryhmästä (pohjaeläimet, kalat, eläinplankton, kasviplankton, vesikasvit/ levät) ja kustannukset perustuvat kappaleessa 8 kuvattuihin hintoihin. Lisäksi biologisten vasteiden mittaukset perustuvat oletukseen, että biomarkeritutkimukseen sisältyisi noin 30 asemaa ja asemilta otettavista näytteistä tehtäisiin noin 100 analyysiä, joiden hinta on noin 100 € kappale.

Taulukko 8. Suuntaa antava arvio taustaselvityksistä aiheutuvista kustannuksista. Kustannukset on arvioitu vuoden 2012 kustannustasolla.

Kustannuslaji	Tutkimuskustannukset (€)
Tutkimusalus Aranda (Pohjanlahti, Saaristomeri, Pohjoinen Itämeri, Suomenlahti n. 4 lisävuorokautta)	n. 80 000
Tutkimusalus Muikku (Suomenlahti, n. 2 lisävuorokautta)	n. 20 000
Näytteenotto ja analyysitoiminta laivoilla (ylimääräiset päivärahat)	n. 1 000
Meriveden HELCOM-öljyanalyysit (lisäkulut reagensseista)	n. 5 000
Ulkopuolisten alusten käytön lisäkulut (polttoaine)	n. 5 000
PAH-analyysit (merivesi, eliöt, sedimentti)	n. 26 400
Biologisten vasteiden mittaukset	n. 20 000
Yhteensä	n. 152 900

10 Kiitokset

Tekijät kiittävät öljysuojarahastoa ja ympäristöministeriötä projektin rahoittamisesta. Kiitämme kaikkia kirjoittajia asiantuntevasta avusta sekä Magnus Nyströmiä ja Heli Haapasaarta työn valvonnasta ja arvokkaista neuvoista. Kiitokset Tom Lundellille, Lasse Kämäräiselle, Vanessa Klötzerille ja Ari Laineelle yhteistyöstä koskien öljyvai-
kutustutkimuksia. Kiitämme myös Erik Bonsdorffia, Pasi Laihosta, Jouni Lehtorantaa ja Alf Norkkoa näkökulmista ja asiantuntija-avusta. Kiitokset Ritva Koskiselle ja Katariina Matalamäelle julkaisun painokuntoon saattamisesta.

LÄHTEET

- Albers, P. H. 2003. Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons, teoksessa: Hoffman, D. J., Rattner, B. A., Burton, G. A. Jr. & Cairns, J. Jr. (toim.), *Handbook of Ecotoxicology*. Lewis Publishers, Boca Raton, s. 341-371. ISBN 1566705460.
- Bellas, J. & Thor, P. 2007. Effects of selected PAHs on reproduction and survival of the calanoid copepod *Acartia tonsa*. *Ecotoxicology* 16: 465-474.
- Berdugo, V., Harris, R. P. & O'Hara, S. C. M. 1977. The effect of petroleum hydrocarbons on reproduction of an estuarine planktonic copepod in laboratory cultures. *Mar Pollut Bull* 8: 138-143.
- Binderup, M.-L., Duedahl-Olesen, L., Einarsson, S., Fabech, B., Lundebye-Haldorsen, A.-K., Johnsson, H., Knutsen, H. K., Müller, A. K., Vuorinen, P. J. & Wiborg, M. L. 2004. *The effect of oil spills on seafood safety – An example of the application of the Nordic risk analysis model*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen. 214 s. ISBN 9289310561.
- Björkas, K. 1980. Meressä ajelehtineen ja tuoreen raakaöljyn suhteellinen toksisuus eräille vesieläimille, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 131-138. ISBN 9514648625.
- Björklöf, K., Salminen, J., Sainio, P., & Jørgensen, K. 2008. Degradation rates of aged petroleum hydrocarbons are likely to be mass transfer dependent in the field. *Environ Geochem Health* 30:101-107.
- Bock, M., Kämpfer, P., Bosecker, K. & Dott, W. 1994. Isolation and characterization of heterotrophic, aerobic bacteria from oil storage caverns in northern Germany. *Appl Microbiol Biot* 42: 463-468.
- Boehm, P. D., Steinhauer, M. S., Green, D. R., Fowler, B., Humphrey, B., Fiest, D. L. & Cretney, W. J. 1987. Comparative fate of chemically dispersed and beached crude oil in subtidal sediments of the arctic nearshore. *Arctic* 40: 133-148.
- Bonin, P. & Raymond, N. 1990. Effect of oxygen on denitrification in marine sediments. *Hydrobiologia* 207: 115-122.
- Bonsdorff, E. 1980. Öljyvahingon vaikutus ranta- ja pohjaeläimistöön, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 106-121. ISBN 9514648625.
- Bonsdorff, E. 1981. The Antonio Gramsci oil spill. Impact on the littoral and benthic ecosystems. *Mar Pollut Bull* 12: 301-305.
- Bordoloi, N. K. & Konwar, B. K. 2009. Bacterial biosurfactant in enhancing solubility and metabolism of petroleum hydrocarbons. *J Hazard Mat* 170: 495-505.
- Brodkorb, T. S. & Legge, R. L. 1992. Enhanced biodegradation of phenanthrene in oil-tar contaminated soils supplemented with *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl Environ Microbiol* 58: 3117-3121.
- Burk, C. J. 1977. A four year analysis of vegetation following an oil spill in a freshwater marsh. *J Appl Ecol* 14: 515-522.
- CEN/TR 2008. *Oil spill identification. Waterborne petroleum and petroleum products. Analytical methodology and interpretation of results*. 112 s. ISBN 978058060617 5.
- Clark, Jr. R. C. & Blumer, M. 1967. Distribution of n- paraffins in marine organisms and sediment. *Limnol Oceanogr* 12: 79-87.
- Committee on Oil in the Sea 1985. Inputs, Fates and Effects. Ocean Studies Board and Marine Board. Divisions of Earth and Life Studies and Transportation Research Board. National Research Council, Washington D. C., 280 s. ISBN 0309084385.
- Del'Arco, J. P. & de França, F. P. 1999. Biodegradation of crude oil in sandy sediment. *Int Biodeter Biodegr* 44: 87-92.
- Dybern, B. I. & Fonselius, S. H. 1981. Pollution, teoksessa: Voipio A. (toim.), *The Baltic Sea*. Elsevier, Amsterdam, s. 35-380. ISBN 044418849.
- Ehrhardt, M. & Burns, K. A. 1999. Preparation of lipophilic organic seawater concentrates, teoksessa: Grasshof K., Kremling K., Ehrhardt M. (toim.), Kolmas painos, *Methods of Seawater Analysis*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, s. 445-452. ISBN: 9783527613984.
- Elintarvikealan tiedekomitean (SCF) lausunto elintarvikkeiden sisältämien polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen ihmisten terveydelle aiheuttamista vaaroista (2002). http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out153_en.pdf

- Elmgren, R., Hansson, S., Larsson, U. & Sundelin, B. 1979. Impact on deep soft bottoms, teoksessa: University of Stockholm (toim.), *The Tsesis oil spill*. A cooperative international investigation. University of Stockholm. <http://www.archive.org/stream/thesisietseisoi00ask#page/n1/mode/2up>
- Emeis, K.-C., Struck, U., Leipe, T., Pollehne, F., Kunzendorf, H. & Christiansen, C. 2000. Changes in the C, N, P burial rates in some Baltic Sea sediments over the last 150 years – relevance to P regeneration rates and the phosphorus cycle. *Mar Geol*, 167: 43-59.
- Engelhardt, F. R., Geraci, J. R. & Smith, T. G. 1977. Uptake and clearance of petroleum hydrocarbons in the ringed seal, *Phoca hispida*. *J Fish Res Board Can* 34: 1143-1147.
- Esler, D., Bowman, T. D., Trust, K. A., Ballachey, B. E., Dean, T. A., Jewett, S. C. & O'Clair, C. E. 2002. Harlequin duck population recovery following the Exxon Valdez oil spill: progress, process and constraints. *Mar Ecol-Prog Ser* 241: 271-286.
- EU komission näytteenottoasetus 333/2007 (ja sen muutos 836/2011) <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:088:0029:0038:FI:PDF><http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0009:0016:FI:PDF>
- EU komission vierasaineasetus 1881/2006 (ja sen muutokset) <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006R1881:20110520:FI:PDF><http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0009:0016:FI:PDF>
- Fingas, M. E. 2001. *The basics of oil spill cleanup*. Lewis Publisher, Boca Raton, 233 s. ISBN 1566705371.
- Fossato, V. U. 1975. Elimination of hydrocarbon by mussels. *Mar Pollut Bull* 6:7-10.
- Fritsche, W. & Hofrichter, M. 2005. Aerobic degradation of recalcitrant organic compounds by micro-organisms, teoksessa: Jördening, H.-J. & Winter, J. (toim.), *Environmental biotechnology*. Wiley-VCH, Weinheim, s. 203-227. ISBN 9783527604289.
- Froelich, P. N., Klinkhammer, G. P., Bender, M. L., Luedtke, N. A., Heath, G. R., Cullen, D., Dauphin, P., Hammond, D. & Hartman, B. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim Cosmochim Acta*, 43: 1075-1090.
- Frost, K. J., Lowry, L. F., Sinclair, E. H., Ver Hoef, J. & McAllister, D. C. 1994. Impacts on distribution, abundance, and productivity of harbor seals, teoksessa: Loughlin T. R. (toim.), *Marine Mammals and the Exxon Valdez*. Academic Press, San Diego, s. 97-118.
- Gallienne, C. P. & Robins, D. P. 2001. Is Oithona the most important copepod in the world's oceans? *J Plankton Res* 23: 1421-1432.
- Ganning, B. & Billing, U. 1974. Effects on community metabolism of oil and chemically dispersed oil on Baltic bladder wrack, *Fucus vesiculosus*, teoksessa: Beynon, L. R. & Cowell, E. B. (toim.), *Ecological Aspects of Toxicity Testing of Oils and Dispersants*. Appl. Sci. Publ. Ltd., England.
- Geraci, J. R. & Smith, T. G. 1976. Direct and indirect effects of oil on ringed seals (*Phoca hispida*) of the Beaufort Sea. *J Fish Res Board Can* 33: 1967-1984.
- Gomez Gesteira, J. L. & Dauvin, J. C. 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Mar Pollut Bull* 40: 1017-1027.
- Hawkins, S. J., Gibbs, P. E., Pope, N. D., Burt, G. R., Chesman, B. S., Bray, S., Proud, S. V., Spence, S. K., Southward, A. J. & Langston, W. J. 2002. Recovery of polluted ecosystems: the case for long-term studies. *Mar Environ Res* 54: 215-222.
- Hazen T. C., Dubinsky E. A., DeSantis T. Z., Andersen G. L., Piceno Y. M., Singh N., Jansson J. K., Probst A., Borglin S. E., Fortney J. L., Stringfellow W. T., Bill M., Conrad M. E., Tom L. M., Chavarria K. L., Alusi T. R., Lamendella R., Joyner D. C., Spier C., Baelum J., Auer M., Zemla M. L., Chackraborty R., Sonnenthal E. L., D'Haeseleer P., Holman H.-Y. N., Osman S., Lu Z., Van Nostrand J. D., Deng Y., Zhou J. & Mason O. U. 2010. Deep-sea oil plume enriches indigenous oil-degrading bacteria. *Science* 330: 204-208.
- Hayes M. O., Hoff R., Michel J., Scholz D. & Shigenaka G. 1992. *An introduction to coastal habitats and biological resources for spill response*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle.
- HELCOM, Annex C-8. Soft bottom macrozoobenthos. http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/AnnexesC/en_GB/annex8
- Helle, I. 2009. *Modelling the effectiveness of oil combating from an ecological perspective - a Bayesian network approach for the Gulf of Finland*, University of Technology, Helsinki, 98 s.

- Herlemann, D. P. R., Labrenz, M., Jürgens, K., Bertilsson, S., Waniek, J. J. & Andersson, A. F. 2011. Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. *ISME J* 5: 157-1579.
- Hudd, R., Urho, L. & Lehtonen, H. 1987. Selvitys Merenkurkussa tapahtuneen m/s Eiran öljypäästön vaikutuksista kaloihin ja kalastukseen, teoksessa: Koivusaari J. (toim.), *M/s Eiran öljyvahingon ympäristövaikutukset Merenkurkussa 1984*. Ympäristöministeriö, ympäristö- ja luonnosuojeluosasto, Helsinki, s. 127-337. ISBN 9514701542.
- Häkkinen, I. 1980. Saaristolinnustossa 1970-luvulla tapahtuneet muutokset, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, 183-192. ISBN 9514648625.
- Incardona, J., Carls, M., Day, H., Sloan, C., Bolton, J., Colloer, T. & Scholz, N. 2009. Cardiac arrhythmia is the primary response of embryonic Pacific herring (*Clupea pallasi*) exposed to crude oil during weathering. *Environ Sci Technol* 43: 201-207.
- Jacobs, R. P. W. M. 1980. Effects of the Amoco Cadiz oil spill on the seagrass community at Roscoff with special reference to the benthic infauna. *Mar Ecol-Prog Ser* 2: 207-212.
- Johansson, S., Larsson, U. & Boehm, P. 1980. The Tsesis oil spill impact on the pelagic ecosystem. *Mar Pollut Bull* 11: 284-293.
- Jonsson, P. & Carman, R. 1994. Changes in deposition of organic matter and nutrients in the Baltic Sea during the twentieth century. *Mar Pollut Bull* 28: 417-426.
- Kankaanpää, H. 2008. Orgaaniset haitta-aineet, teoksessa: Mika Raateoja (toim.), *Meri*. Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 64, Helsinki, s. 41 - 43. ISBN 9789515331441.
- Kennish, M. J. 1997. *Practical handbook of estuarine and marine pollution*. CRC Press, Boca Raton, 524 s. ISBN 0849384249.
- Koskinen, K., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. & Kankaanpää, H. 2011. Spatially differing bacterial communities in water columns of the northern Baltic Sea. *Microb Ecol* 75: 99-110.
- Kostka, J. E., Prakash, O., Overholt, W. A., Green, S. J., Freyer, G., Canion, A., Delgadio, J., Norton, N., Hazen, T. C. & Huettel, M. 2011. Hydrocarbon-degrading bacteria and the bacterial community response in Gulf of Mexico beach sands impacted by the Deepwater Horizon oil spill. *Appl Environ-Microb* 77: 7962-7974.
- Kowalewska, G. & Konat, J. 1997. Distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the southern Baltic Sea. *Oceanologia* 39: 83-104.
- Koivusaari, J. 1987. *M/s Eiran öljyvahingon ympäristövaikutukset Merenkurkussa 1984*. Ympäristöministeriö, ympäristö- ja luonnosuojeluosasto, Helsinki, 473 s. ISBN 9514701542.
- Lappalainen, A. & Kangas, P. 1980. Meribiologinen tutkimusohjelma Suomen kulkuvesillä tapahtuvissa öljyvahingoissa, teoksessa: Pfister K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 241-276. ISBN 9514648625.
- Lecklin, T., Ryömä, R. & Kuikka, S. 2011. A Bayesian network for analyzing biological acute and long-term impacts of an oil spill in the Gulf of Finland. *Mar Pollut Bull* 62: 2822-2835.
- Lee, R. F., Sauerheber, R. & Benson, A. A. 1972. Petroleum hydrocarbons: uptake and discharge by the marine mussel *Mytilus edulis*. *Science* 177: 344-346.
- Leppäkoski, E. 1973. Effects of an oil spill in the Northern Baltic. *Mar Pollut Bull* 6: 93-94.
- Li, M. & Garrett, C. 1998. The relationship between oil droplet size and upper ocean turbulence. *Mar Pollut Bull* 36: 961-970.
- Li, Z., Kepkay, P., Lee, K., King, T., Boufadel, M. C. & Venosa, A. 2007. Effects of chemical dispersants and mineral fines on crude oil dispersion in a wave tank under breaking waves. *Mar Pollut Bull* 54: 983-993.
- Lindén, O. 1979. History of the spill. *The Tsesis oil spill*. A cooperative international investigation. University of Stockholm. <http://www.archive.org/stream/thesisietesisio0ask#page/n1/mode/2up>
- Lindén, O. & Foberg, M. 1979. Measurements of byssus formation among blue mussel *Mytilus edulis*, teoksessa: University of Stockholm (toim.), *The Tsesis oil spill*. A cooperative international investigation. University of Stockholm. <http://www.archive.org/stream/thesisietesisio0ask#page/n1/mode/2up>

- Lindén, O. Elmgren, R. & Westin, L. 1979. Discussion, teoksessa: University of Stockholm (toim.), *The Tsesis oil spill*. A cooperative international investigation. University of Stockholm. <http://www.archive.org/stream/thesisetsesisoi00ask#page/n1/mode/2up>
- Lindgren, C. & Lindblom, E. 2004. *Short-term effects of accidental oil pollution in waters of the Nordic Countries*. Swedish Environmental Research Institute, Stockholm 48 s.
- Lindstrom, J. E., Prince, R. C., Clark, J. C., Grossman, M. J., Yeager, T. R., Braddock, J. F., & Brown, E. J. 1991. Microbial populations and hydrocarbon biodegradation potentials in fertilized shoreline sediments affected by the T/V Exxon Valdez oil spill. *Appl Environ Microbiol* 57: 2514-2522.
- Lotufo, G. R. 1997. Toxicity of sediment-associated PAHs to an estuarine copepod: effects on survival, feeding, reproduction and behavior. *Mar Environ Res* 44:149-166.
- Mackay, D. 1985. The physical and chemical fate of spilled oil, teoksessa: Engelhardt, F.R. (toim.), *Petroleum Effects in the Arctic Environment*. Elsevier, London, s. 37-61.
- Miller, M. C., Alexander, V. & Barsdate, R. 1978. The effects of oil spills on phytoplankton in an arctic lake and ponds. *Arctic* 31: 192-218.
- Moles, A. 1998. Sensitivity of 10 aquatic species to long-term crude oil exposure. *Bull Environ Contam Toxicol* 61: 102-107.
- Mortimer, C. H. 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes, *I J Ecol* 29: 280-329.
- Mustonen, M. & Tulkki, P. 1972. Bottom fauna of the oil polluted area. *Aqua Fennica* 137-141.
- Neff, J. M. 1979. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment: Sources, Fates and Biological Effects*. Elsevier, Essex.
- Notini, M. 1979. Effects of the Tsesis oil spill on fucus macrofauna, teoksessa: University of Stockholm (toim.), *The Tsesis oil spill*. A cooperative international investigation. University of Stockholm.
- Nyman, C., Lax, H.-G. & Vainio, T. 1987. M/s Eiran öljypäästö; vaikutukset veden laatuun ja pohjaeliöihin, teoksessa: Koivusaari J. (toim.), *M/s Eiran öljyvahingon ympäristövaikutukset Merenkurkussa 1984*. Ympäristöministeriö, ympäristö- ja luonnosuojeluosasto, Helsinki. ISBN 9514701542.
- Ott, F. S., Harris, R. P. & O'Hara, S. C. M. 1978. Acute and sublethal toxicity of naphthalene and three methylated derivatives to the estuarine copepod, *Eurytemora affinis*. *Mar Environ Res* 1:49-58.
- Page, C. A., Bonner, J. S., Sumner, P. L., McDonald, T. J., Autenrieth, R. L., & Fuller, C. B. 2000. Behavior of a chemically-dispersed oil and a whole oil on a near-shore environment. *Water Res* 34: 2507-2516.
- Pahtamaa, T., Hildén, O., Koivusaari, J. & Missonen, T. 1987. Öljyonnettomuuden vaikutukset Merenkurkun linnustoon, teoksessa: Koivusaari, J. (toim.), *M/s Eiran öljyvahingon ympäristövaikutukset Merenkurkussa 1984*. Ympäristöministeriö, ympäristö- ja luonnosuojeluosasto, Helsinki. ISBN 9514701542.
- Parmanne, R. & Axell, M.-B. 1980. Öljyvahingon vaikutus kilohailin lisääntymiseen varsinaisen Itämeren pohjoisosassa, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 69-76. ISBN 9514648625.
- Peakall, D. B. 1994. The role of biomarkers in environmental assessment (1). Introduction. *Ecotoxicology* 3: 157-160.
- Pelkonen, K. & Tulkki, P. 1972. The littoral fauna of the oil polluted area. *Aqua Fennica* 129-136.
- Percy, J. A. 1977. Responses of arctic marine benthic crustaceans to sediments contaminated with crude oil. *Environ Pollut* 13: 1-9.
- Percy, J. A. 1982. Benthic and intertidal organisms, teoksessa: Sprague J. B., Vandermeulen J. H. & Wells P. G. (toim.), *Oil and Dispersants in Canadian Seas: Research Appraisal and Recommendations*. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-82-2, Ottawa, s. 87-105. ISBN 0662119959.
- Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E. & Irons, D. B. 2003. Long-term ecosystem response to the Exxon-Valdez oil spill. *Science* 302: 2082-2086.
- Pezeshki, S. R., Hester, M. V., Lin, Q. & Nyman, J. A. 2000. The effects of oil spill and clean-up on dominant US gulf coast marsh macrophytes: a review. *Environ Pollut* 108: 129-139.
- Pfister, K. 1980. Öljyvahingon jälkivaiheet, teoksessa: Pfister K. (toim.), *Itämeren öljyvahinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 33-50. ISBN 9514648625.
- Pikkarainen, A.-L. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Baltic Sea sediments. *Polycycl Aromatic Comp* 24: 667-679.

- Pikkarainen, A.-L. 2008. *Organic contaminants – occurrence and biological effects in the Baltic Sea*. Dissertation. University of Helsinki, Faculty of Science, Department of Chemistry, Helsinki, 49 s. ISBN 9789521046087.
- Pikkarainen, A.-L. & Lemponen P. 2005. Petroleum hydrocarbon concentrations in Baltic Sea subsurface water. *Boreal Environ Res* 10: 125-134.
- Poulet, S. A., Ianora, A., Laabir, M. & Klein Breteler, W. C. M. 1995. Towards the measurement of secondary production and recruitment in copepods. *ICES J Mar Sci* 52: 359-368.
- Rabalais, N. N. 2011. Troubled waters of the Gulf of Mexico. *Oceanography* 24:200-211, doi:10.5670/oceanog.2011.44.
- Ravanko, O. 1971. MT Palvan öljyn vaikutus ranta- ja vesikasvillisuuteen Kökarin saaristossa. *Ympäristö ja terveys* 8: 85-87.
- Ricking, M. & Schulz, H. M. 2002. PAH profiles in sediment cores from the Baltic Sea. *Mar Pollut Bull* 44: 565-570.
- Robertson, A. 1998. Petroleum hydrocarbons, teoksessa: Wilson S.J., Murray J.L., Huntington H.P. (toim.), *AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, s. 661-701.
- Rumohr, H., Bonsdorff, E. & Pearson, T. H. 1996. Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats. *Arch Fish Mar Res* 44: 179-214.
- Rydén, L., Migula, P. & Andersson, M. 2003. *Environmental science: understanding, protecting and managing the environment in the Baltic Sea region*. Baltic University Press, Uppsala.
- Saha, M. K. & Konar, S. K. 1985. Chronic effects of petroleum refinery effluent on aquatic ecosystem. *Environ Ecol* 3: 17-20.
- Salminen, J.M., Tuomi, P.M., Suortti, A.-M. & Jørgensen, K.S. 2004. Potential for aerobic and anaerobic biodegradation of petroleum hydrocarbons in boreal subsurface. *Biodegradation* 15: 29-39.
- Salminen, J. M., Tuomi, P. M. & Jørgensen, K. S. 2008. Functional gene abundances (nahAc, alkB, xylE) in the assessment of the efficacy of bioremediation. *Appl Biochem Biotechnol* 151: 638-652.
- Sanders, H. J., Grassler, F. & Hampson, G. R. 1972. *The West Falmouth oil spill I: Biology*. Woods Hole Oceanographic Institute, MA.
- Scholz, D., Michel, J., Shigenaka, G. & Hoff, R. 1992. Biological resources, teoksessa: Hayes M., Hoff R., Michel J., Scholz D. & Shigenaka G. (toim.), *Introduction to coastal habitats and biological resources for spill response*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle.
- Schulz, H.-M. & Emeis, K.-C. 2000. Sources and pathways of natural and anthropogenic hydrocarbons into the natural dump Arkona Basin (southern Baltic Sea). *Environ Geol* 39: 839-848.
- Shaw, D. G. 1977. Hydrocarbons in the Water Column, teoksessa: Wolfe D.A. (toim.), *Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems*. Pergamon Press, New York, s. 8-18.
- Sikkema, J., deBont, J.A.M. & Poolman, B. 1995. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microb Rev* 59: 201-222.
- Sisäasiainministeriö 2008. *Suuronnettomuuksien ja ympäristötuhojen torjunta*. Sisäisen turvallisuuden ohjelman valmisteluun osallistuneen asiantuntijaryhmän loppuraportti, Helsinki.
- Sjöberg, M. & Ball, J. P. 2000. Grey seal, *Halichoerus grypus*, habitat selection around haulout sites in the Baltic Sea: bathymetry or central-place foraging? *Can J Zool* 78: 1661-1667.
- Soikkeli, M. & Virtanen, J. 1972. Effects of oil pollution on the eider (*Somateria mollissima*) population in the archipelagos of Kökar and Föglö, southwestern Finland. *Aqua Fennica* 122-128.
- Stenman, O. 1980. Öljyn vaikutus hylkeisiin, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvuohinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, 203-206. ISBN 9514648625.
- Sterling, Jr., M. C., Bonner, J. S., Page, C. A., Fuller, C. B., Ernest, A. N. S. & Autenrieth, R. L. 2004. Modeling crude oil droplet-sediment aggregation in nearshore waters. *Environ Sci Technol* 38: 4627-4634.
- Suomalainen, S. 1980. Kokeellinen tutkimus maihin ajelehtineen raakaöljyn vaikutuksista ylimmän rantavyöhykkeen kasvillisuuteen, teoksessa: Pfister, K. (toim.), *Itämeren öljyvuohinko 1979*. Sisäasiainministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki, s. 139-143. ISBN 9514648625.
- Tuvikene, A. 1995. Responses of fish to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Ann Zool Fennici* 32: 295-309.

- Van Bernem, K. H. 1982. Effect of experimental crude oil contamination on abundance, mortality and resettlement of representative mud flat organisms in the mesohaline area of the Elbe estuary. *Neth J Sea Res* 16: 538-546.
- Viitasalo, M. 1992. Mesozooplankton of the Gulf of Finland and northern Baltic Proper. A review of monitoring data (1992). *Ophelia* 35: 147-168.
- Wake, H. 2005. Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment. *Estuar Coast Mar Sci* 62: 131-140.
- Wells, P.G. & Percy, J.A. 1985. Effects of oil on arctic invertebrates, teoksessa: Engelhardt F.R. (toim.), *Petroleum Effects in the Arctic Environment*. Elsevier, London, s. 101-156.
- Weise, A. M., Nalewajko, C. & Lee, K. 1999. Oil-mineral fine interactions facilitate oil biodegradation in sea-water. *Environ Technol* 20: 811-824.
- Widdel F & Rabus R. 2001. Anaerobic biodegradation of saturated and aromatic hydrocarbons. *Curr Opinion Biotechnol* 12: 259-276.
- Wiese, F. K. & Ryan, P. C. 2003. The extent of chronic marine oil pollution in southeastern Newfoundland waters assessed through beached bird surveys 1984-1999. *Mar Pollut Bull* 46: 1090-1101.
- Witt, G. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediments of the Baltic Sea. *Mar Pollut Bull* 31: 237-248.
- Witt, G. & Trost, E. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the Baltic Sea and of the German coastal waters. *Chemosphere* 38: 1603-1614.
- Witt, G. & Siegel, H. 2000. The Consequences of the Oder Flood in 1997 on the Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Oder River Estuary (1999). *Mar Pollut Bull* 40: 1124-1131.
- Witt, G. & Matthäus, W. 2001. The impact of Salt Water Inflows on the distribution of PAHs in the deep water of the Baltic Sea. *Mar Chem* 74: 279-301.
- Yakimov, M. M., Gentile, G., Bruni, V., Cappello, S., D'Auria, G., Golyshin, P. N. & Giuliano, L. 2004. Crude oil-induced structural shift of coastal bacterial communities of rod bay (Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica) and characterization of cultured cold-adapted hydrocarbonoclastic bacteria. *Fems Microbiol Ecol* 49: 419-432.
- Youngblood, W. W. & Blumer, M. 1973. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: homologous series in soils and recent marine sediments. *Geochim Cosmochim Ac* 39: 1303-1314.
- Zengler, K., Richnow, H.H., Rosselló-Mora, R., Michaelis, W. & Widdel, F. 1999. Methane formation from long-chain alkanes by anaerobic microorganisms. *Nature* 401: 266-269.
- Österblom, H., Jeugd, H. P. V. D. & Olsson, O. 2004. Adult survival and avian cholera in Common Guillemots *Uria aalge* in the Baltic Sea. *Ibis* 146: 531-534.

Liite I.

ÖVA-ryhmän, sidosryhmien, tukitoimijoiden ja laboratorioiden yhteystietoja 31.3.2012 tietoihin perustuen.

ÖVA (Öllyn ekologisten vaikutusten tutkimusryhmän) yhteystiedot (31.3.2012 tietoihin perustuen):

SYKE:n valmiusryhmän johtaja	ÖVA-ryhmän vastuuhenkilö / SYKE:n yhteysenkilö	RKTL:n yhteysenkilö	Eviran yhteysenkilö	Helsingin yliopiston yhdysenkilö	Åbo Akademi yhteysenkilöt
Professori, Vesikeskuksen johtaja Seppo Rekolainen Suomen ympäristökeskus, Vesikeskus, Mechelininkatu 34 a, PL 140, 00251 Helsinki, 040 540 5165 seppo.rekolainen@ymparisto.fi	Erikoistutkija Harri Kankaanpää Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Hakuninmaantie 6, PL 140, 00251 Helsinki, 0401823185 harri.kankaanpaa@ymparisto.fi	Kalatoksikologi Pekka J. Vuorinen, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Viikinkaari 4, PL 2, 00791 Helsinki, 040 732 7357 pekka.vuorinen@rktl.fi	Ylitarkastaja Pirkko Kostamo Elintarvike- turvallisuusvirasto, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki, 050 386 8436 pirkko.kostamo@evira.fi	Tutkija Riikka Venesjärvi, Merikotka, Heikinkatu 7, 48100 Kotka, 0504150609 riikka.venesjarvi@helsinki.fi	Husön biologisen I aitoksen johtaja, Johanna Mattila, Åbo Akademi, Ympäristö- ja meri- biologian laitos, Tykistökatu 6, 20520 Turku, 02 215 4384 johanna.mattila@abo.fi Dosentti Christoffer Boström, Åbo Akademi, Ympäristö- ja meribiologi- an laitos, Tykistökatu 6, 20520 Turku ja Korpoströmin saariston- tutkimuskeskus, FI-21701 Korpoström Finland, 022 215 3466 christoffer.bostrom@abo.fi

EVA (Ekologisten vaikutusten valmiusryhmä) yhteystiedot (31.3.2012 tietoihin perustuen):

EVA-A Valmiusryhmän vastuuhenkilö	EVA-B Biologisten v aikutusten vastuuhenkilö	EVA-C SYKE:n alustoiminnan kehittämispäällikkö	EVA-D SYKE:n öljynäytteenoton vastuuhenkilö	EVA-E SYKE:n öljyanalytiikan vastuuhenkilö
Erikoistutkija, Harri Kankaanpää, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus Hakuninmaantie 6, PL 140, 00251 Helsinki, 0401823185 harri.kankaanpaa@ymparisto.fi	Erikoistutkija Kari Lehtonen, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Erik Palménin aukio 1, PL 140, 00251 Helsinki, 040 7030 305 kari.lehtonen@ymparisto.fi	Juha Flinkman Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Mechelininkatu 34 a, PL 140, 00251 Helsinki, 040 750 3911 juha.flinkman@ymparisto.fi	Merianalyttikko Jere Riikonen, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Erik Palménin aukio 1, PL 140, 00251 Helsinki, 040 182 3311 jere.riikonen@ymparisto.fi	Erikoistutkija Harri Kankaanpää, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Hakuninmaantie 6, PL 140, 00251 Helsinki, 0401823185 harri.kankaanpaa@ymparisto.fi
EVA-F HELCOM seurannan öljynäytteenottajat 3 kpl				
Merianalytytikot: Jere Riikonen, Kirsi Hyvärinen ja Tanja Kinnunen, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Erik Palménin aukio 1, PL 140, 00251 Helsinki etunimi.sukunimi@ymparisto.fi Jere Riikonen: 040 182 3311 Kirsi Hyvärinen: 040 182 3176 Tanja Kinnunen: 040 182 3189				
EVA-G HELCOM seurannan pohjäläinnäytteenottajat 1-3 kpl				
Tutkija Heta Rousi, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus PL 140, 00251 Helsinki, 0400 148 835 heta.rousu@ymparisto.fi Tutkimusassistentti Marko Jaale, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Erik Palménin aukio 1, PL 140, 00251 Helsinki, 040 182 3181 marko.jaale@ymparisto.fi Tutkija Katriina Könönen, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus PL 140, 00251 Helsinki, 0400508591 katriina.kononen@ymparisto.fi				

Tärkeimmät alustoimijat (31.3.2012 tietoihin perustuen):

SYKE:n tutkimusalukset Aranda ja Muikku	Merivoimien monitoimialus Louhi	HY:n tutkimusveneet Saduria, J.A. Palmén ja Clupea	Rajavartiolaitoksen alukset ja veneet	Meripelastusseuran veneet
Kehityspäällikkö Juha Flinkman, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus Mechelininkatu 34a, PL 140, 00251 Helsinki, 040 750 3911 Juha.Flinkman@ymparisto.fi	Ylitarkastaja Jukka Pajala, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus Mechelininkatu 34a, PL 140, 00251 Helsinki, 0400 920 922 jukka.pajala@ymparisto.fi	Tutkimusteknikko Veijo Kinnunen, Helsingin Yliopisto, Tvärminnen eläin- tieteellinen asema J.A. Palménin tie 260, 10900 Hanko, 0400 445 832 veijo.kinnunen@helsinki.fi	Komentajakapteeni Tom Lundell, Sisäasiainministeriö, Rajavartiolaitoksen esikunta, Meriturvallisuus ja -pelastusyksikkö, Korkeavuorenkatu 21, 00131 Helsinki, 0718721152 tom.lundell@raja.fi	Tekninen päällikkö Lasse Kämäräinen, Suomen Meripelastusseura, Kallioliinantie 4, 00140 Helsinki, 0207416033 lasse.kamarainen@ meripelastus.fi

Tukitoiminnan yhteystietoja (31.3.2012 tietoihin perustuen):

Imatieteenlaitoksen öljymallinnus	Rajavartiolaituksen ilmahavainnot	VELMUn habitaattitiedot	KRP:n yhteyshenkilö	WWFn kenttätoiminnan yhteyshenkilö
Yhteyshenkilönä Meren dynamiikka ja mallinnus ryhmän päällikkö Jari Haapala, Imatieteenlaitos Erik Palménin aukio 1, PL 503, 00101 Helsinki, 09 1929 6406 jari.haapala@fmi.fi	Yhteyshenkilönä Komentajakapteeni Tom Lundell, Sisäasiainministeriö, Rajavartiolaituksen esikunta, Meriturvallisuus- ja pelastusyksikkö, PL 3 Korkeavuorenkatu 21, 00131 Helsinki, 0718721152 tom.lundell@raja.fi	Erikoistutkija Kirsi Kostamo, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Mechelininkatu 34a, 00251 Helsinki, 0400148656 kirsi.kostamo@ymparisto.fi	Rikoskemisti Niina Viitala, Keskusrikospoliisi, Rikostekninen laboratorio PL 285, 01301 Vantaa, 071 878 6325 Niina.Viitala@poliisi.fi	Meriasiantuntija Vanessa Klötzer, Lintulahdenkatu 10, 00500 Helsinki, 0407630000 Vanessa.Klotzer@wwf.fi
Öljyntorjunnan yhteyshenkilö				
Yt-ryhmän vetäjä ylitarkastaja Heli Haapasaari, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus Mechelininkatu 34a, 00251 Helsinki, 040 179 3050 heli.haapasaari@ymparisto.fi	BORIS-käyttöliittymän yhteyshenkilö Ylitarkastaja Meri Hietala, Suomen ympäristökeskus, Merikeskus Mechelininkatu 34 a, 00251 Helsinki, 040 534 1960 meri.hietala@ymparisto.fi			

Laboratorioiden yhteystiedot (31.3.2012 tietoihin perustuen):

SYKE:n tutkimus ja innovaatiolaboratorio	MetropoliLab
Yksikön päällikkö Pirjo Sainio, Suomen ympäristökeskus Hakuninmaantie 6, PL 140, 00251 Helsinki, 0400 963 995 pirjo.sainio@ymparisto.fi	Kemisti Juhani Airo, MetropoliLab PL 550, 00099 Helsinki, 010 391 3431 juhani.airo@metropolilab.fi

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisuaika
				Marraskuu 2012
Tekijä(t)	Heta Rousi ja Harri Kankaanpää (toim.)			
Julkaisun nimi	Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset Suomen kansallinen toimintasuunnitelma			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2012			
Julkaisun teema	Luonto			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Öljyvahinkojen seurauksena mereen päässyt öljy aiheuttaa eliöissä ja elottomassa ympäristössä välittömiä ja pitkäaikaisia muutoksia. Tämä julkaisu on ensimmäinen kansallinen, yhtenäinen toimintasuunnitelma laajamittaisia öljyvahinkotilanteita varten. Raportissa tutkijoista, asiantuntijoista ja viranomaisista koostuva työryhmä on koonnut yhteen olennaisen nykytiedon öljyn meriekologisista vaikutuksista, tutkimuksesta ja näyttötoimasta sekä jakaa selkeästi vastuualueet tutkimuksen toimintaketjussa. Tarkastelun kohteena ovat mineraaliöljyjen aiheuttamat vaikutukset.</p> <p>Öljyvahinkojen yhteydessä on havaittu, että öljy-yhdisteiden vaikutukset eliöstöön ulottuvat näkyvästi saastuneen alueen ulkopuolelle ja siksi tämä toimintasuunnitelma antaa ohjeet öljyn ekologisten vaikutusten tutkimukseen käytännössä kaiken suuruisissa öljyvahinkotilanteissa ja öljyvahingon päävaikutusalueen ulkopuolella. Akuuttivaiheen tutkimuksen lisäksi öljyn pitkäaikaisten vaikutusten ja pitoisuuksien seuranta on tarpeellista.</p> <p>Itämeri on erittäin herkkä merialue. Alusöljyvahinkojen määrä on alueella pienentynyt viime vuosikymmenten aikana muun muassa tiukentuneista alusten kuntovaatimuksista, koventuneista päästörajoituksista, valvonnasta ja alusliikenteen reititysjärjestelmistä johtuen, samalla kun alusliikenteen määrä on kuitenkin lisääntynyt voimakkaasti. Suomenlahden öljykuljetusmäärä kasvoi vuosien 1995 ja 2010 välisenä aikana lähes kymmenkertaiseksi ja kasvun odotetaan jatkuvan yhä, kun Venäjä avaa uusia öljyterminaaleja ja kasvattaa olemassa olevien terminaaliensa kapasiteettia. Mereen saattaa joutua huomattavia määriä öljyä myös rannikolla sijaitsevasta kohteesta, kuten teollisuuslaitoksesta.</p> <p>Tämä toimintasuunnitelma on tarkoitettu oppaaksi öljyvahinkotilanteeseen niille viranomaisille, jotka vastaavat öljyn meriekologisten vaikutusten tutkimisesta Suomessa. Julkaisu jakautuu kolmeen osioon: taustatietoja sisältävässä osassa (osa A) tarkastellaan öljyvahingon seurauksia meriluonnossa ja vaikutusselvityksen vaatimia menettelyitä yleisellä tasolla, toimintaosiossa (osa B) kuvataan vaihe vaiheelta ne toimenpiteet, jotka käynnistetään öljyvahinkotilanteessa ja kolmannessa osiossa (osa C) tuodaan esiin tarpeet lisäselvityksistä koskien meriekosysteemissä olevan öljyn taustapitoisuuksia. Teoksen B-osaa voidaan käyttää yksinkertaisesti pelkkänä toimintaohjeena.</p>			
Asiasanat	Öljyvahinko, vaikutustutkimus, Itämeri, toimintasuunnitelma, öljypitoisuus, öljy-yhdisteet			
Rahoittaja/ toimeksiantaja				
	ISBN (nid.) 978-952-11-4101-0		ISBN (PDF) 978-952-11-4102-7	
	ISSN (pain.) 1796-1645		ISSN (verkkok.) 1796-1653	
	Sivuja 105	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), asiakaspalvelu PL 140, 00251 Helsinki, Puh. 020 690 183, faksi (09) 5490 2190 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 Helsinki,			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2012			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum November 2012	
Författare	Heta Rousi och Harri Kankaanpää (red.)		
Publikationens titel	Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset; Suomen kansallinen toimintasuunnitelma (Ekologiska konsekvenser av oljeskador på Östersjön; Finlands nationella handlingsplan)		
Publikationsserie och nummer	Miljöförvaltningens anvisningar 6/2012		
Publikationens tema	Natur		
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt			
Sammandrag	<p>Olja som hamnat i havet till följd av oljeskador orsakar direkta och långvariga ändringar hos organismer och i den abiotiska miljön. Denna publikation är den första nationella, gemensamma handlingsplanen för situationer med omfattande oljeföroreningar. I rapporten har en arbetsgrupp bestående av forskare, experter och myndigheter samlat de väsentliga kunskaperna från idag om oljans marinekologiska konsekvenser samt om oljeutredningar och -provtagningar. Arbetsgruppen delar tydligt upp ansvarsområdena inom utredningens verksamhetskedja. Föremålet för undersökningen är mineraloljornas konsekvenser.</p> <p>I samband med oljeskador har man upptäckt att oljeföreningarna påverkar biota utanför det synligt förorenade området. Därför innehåller denna handlingsplan praktiska anvisningar om utredningen av oljans ekologiska konsekvenser i oljeskadesituationer oavsett omfattning och utanför oljeskadans huvudsakliga verkningsområde. Utöver utredningarna i det akuta stadiet är det nödvändigt att följa upp oljans långsiktiga effekter och halter.</p> <p>Östersjön är en mycket känslig marin region. Antalet fartygsoljeskador i området har minskat de senaste årtiondena bland annat tack vare åtstramade krav på fartygens skick, hårdare bestraffningar för utsläpp, övervakning och fartygstrafikens routingsystem. Samtidigt har dock fartygstrafiken ökat kraftigt. Antalet oljetransporter i Finska viken nästan tiodubblades mellan 1995 och 2010, och ökningen förväntas fortgå när Ryssland öppnar nya oljeterminaler och utökar kapaciteten i sina befintliga terminaler. Betydande mängder olja kan också rinna ut i havet från ett objekt vid kusten, till exempel en industrianläggning.</p> <p>Denna handlingsplan är avsedd som en guide i oljeskadesituationer för myndigheter som ansvarar för utredningen av oljans marinekologiska konsekvenser i Finland. Publikationen består av tre delar: i delen med bakgrundsinformation (del A) granskas följderna av oljeolyckor i den marina naturen och de allmänna förfaranden som krävs enligt konsekvensutredningen, i verksamhetsdelen (del B) beskrivs steg för steg de åtgärder som vidtas i en oljeskadesituation och den tredje delen (del C) tar upp behoven av ytterligare utredningar gällande bakgrundshalterna av olja i det marina ekosystemet. Del B är enkel att använda som en ren instruktion.</p>		
Nyckelord	oljeskada, påverkningsstudie, Östersjö, handlingsplan, oljehalt, oljeföreningar		
Finansiär/uppdragsgivare			
	ISBN (hft.) 978-952-11-4101-0		ISBN (PDF) 978-952-11-4102-7
	ISSN (print) 1796-1645		ISSN (online) 1796-1653
	Sidantal 105	Språk finska	Offentlighet Offentlig
Beställningar/distribution	Finlands miljöcentral (SYKE), kundservice PB 140, 00251 Helsingfors, Tfn. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi		
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors		
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2012		

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> November 2012
<i>Author(s)</i>	Heta Rousi and Harri Kankaanpää (Eds.)			
<i>Title of publication</i>	Itämerellä tapahtuvien öljyvahinkojen ekologiset seuraukset; Suomen kansallinen toimintasuunnitelma (The ecological effects of oil spills in the Baltic Sea; The National Action Plan of Finland)			
<i>Publication series and number</i>	Environmental Administration Guidelines 6/2012			
<i>Theme of publication</i>	Nature			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>When oil enters the sea as a result of an oil spill it causes both immediate and long-term changes in the biotic and abiotic environments. This publication is the first uniform Finnish national plan of action in the case of large-scale oil pollution incidents. For this report, a working group comprising researchers, experts and authorities has compiled essential current information on the impact of oil on marine ecology as well as guidelines on how to conduct research and sampling. Furthermore, the areas of research responsibilities have been clearly defined. The focus of this report is on the impact of mineral oils.</p> <p>It has been found in connection with earlier oil spills that the impacts of petroleum hydrocarbons on living organisms extend beyond the visibly polluted area. This action plan therefore provides instructions on how to survey the ecological impacts of oil irrespective of the extent of the oil spill, and covering areas beyond the main affected area. In addition to acute-stage research, monitoring of long-term effects and oil levels is also necessary.</p> <p>The Baltic Sea is a particularly vulnerable sea area. The number of oil spills caused by vessels has decreased over the past decades due to tighter requirements regarding vessel condition, strict sanctions on spills and improved overall surveillance and route planning, while the amount of vessel traffic has significantly increased. Over the period from 1995 to 2010, oil transport in the Gulf of Finland increased nearly 10-fold, and this trend is expected to continue as Russia opens new oil terminals and increases the capacity of its existing terminals. Furthermore, it is possible that significant amounts of oil enter the sea from onshore sources, such as industrial plants.</p> <p>This action plan aims to provide guidelines in case of an oil spill for the Finnish authorities responsible for studying the impacts of oil on the marine ecosystems in Finland. The publication is divided into three sections: Section A contains general background information on the impacts of oil spills on the marine environment and approaches required to carry out the impact studies; Section B describes step-by-step instructions on how to initiate the necessary procedures in case of an oil spill; and in Section C, the need for further study on baseline oil levels in marine ecosystems is discussed. Section B may be used as a standalone guide.</p>			
<i>Keywords</i>	oil spill, impact research, Baltic Sea, action plan, mineral oil content, compounds of mineral oil			
<i>Financier/ commissionere</i>				
	ISBN (pbk.) 978-952-11-4101-0		ISBN (PDF) 978-952-11-4102-7	
	ISSN (print) 1796-1645		ISSN (online) 1796-1653	
	<i>No. of pages</i> 105	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland, Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi, www.environment.fi/syke			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd, Helsinki 2012			

Öljyvahinkojen seurauksena mereen päässyt öljy aiheuttaa eliöissä ja elottomassa ympäristössä välittömiä ja pitkäaikaisia muutoksia. Tämä julkaisu on ensimmäinen kansallinen, yhtenäinen toimintasuunnitelma laajamittaisia öljyvahinkotilanteita varten. Raportissa tutkijoista, asiantuntijoista ja viranomaisista koostuva työryhmä on koonnut yhteen olennaisen nykytiedon öljyn meriekologisista vaikutuksista, tutkimuksesta ja näytteenotosta sekä jakaa selkeästi vastuualueet tutkimuksen toimintaketjussa. Tarkastelun kohteena ovat mineraaliöljyjen aiheuttamat vaikutukset.

Öljyvahinkojen yhteydessä on havaittu, että öljy-yhdisteiden vaikutukset eliöstöön ulottuvat näkyvästi saastuneen alueen ulkopuolelle ja siksi tämä toimintasuunnitelma antaa ohjeet öljyn ekologisten vaikutusten tutkimukseen käytännössä kaiken suuruisissa öljyvahinkotilanteissa ja öljyvahingon päävaikutusalueen ulkopuolella. Akuuttivaiheen tutkimuksien lisäksi öljyn pitkäaikaisten vaikutusten ja pitoisuuksien seuranta on tarpeellista.



ISBN 978-952-11-4101-0 (nid.)

ISBN 978-952-11-4102-7 (PDF)

ISSN 1796-1645 (pain.)

ISSN 1796-1653 (verkkokj.)